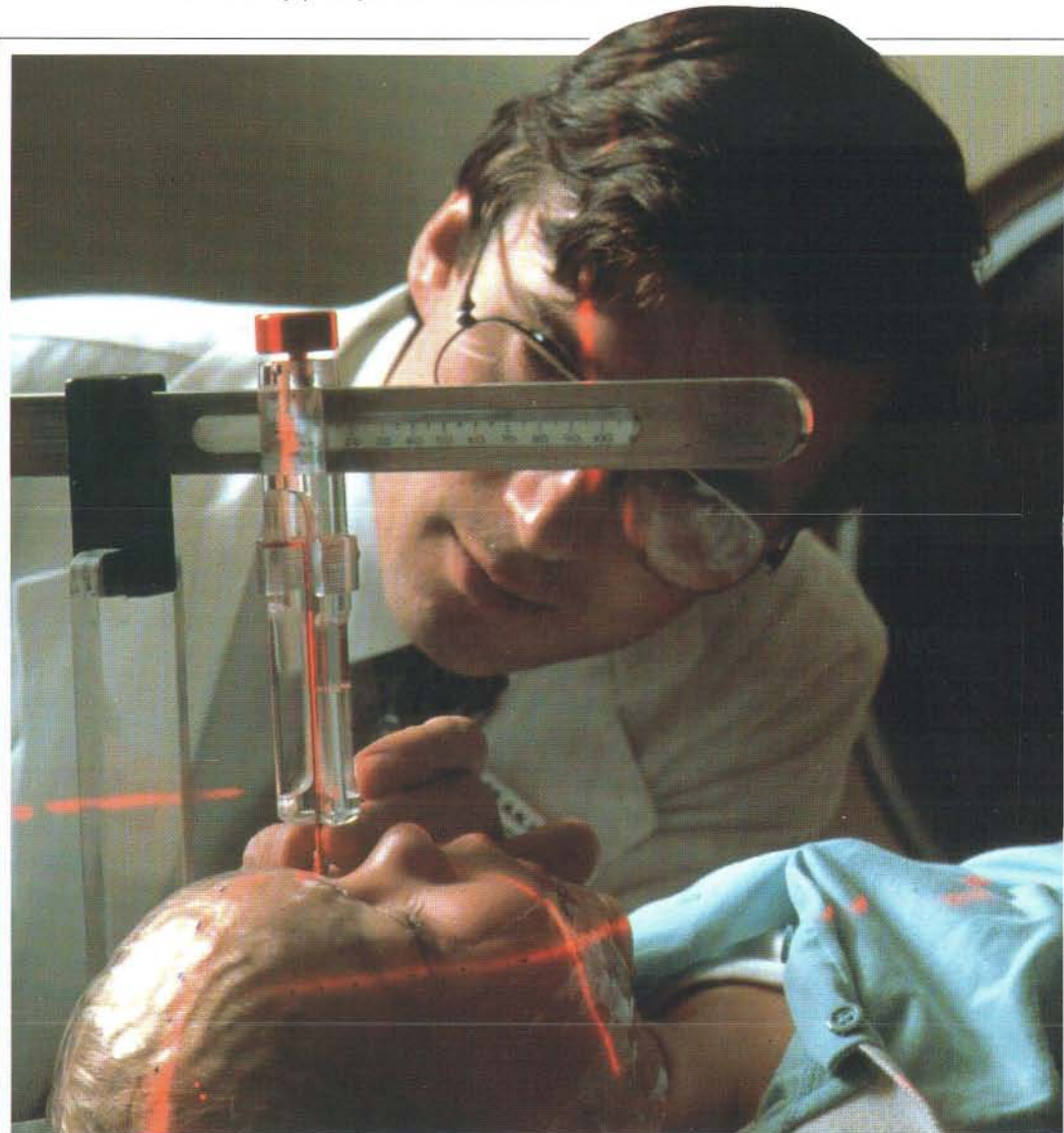


8 | 58<sup>e</sup> jaargang

# NATUUR '90 & TECHNIEK

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



## **RADIOTHERAPIE**

HOMMELS OP BLOEMBEZOEK/ELEKTRISCHE GELEIDING/  
OPGEGRAVEN EETGEWOONTEN/ZICHT OP KLEUR

# Geneesmiddelen-Innovatie vandaag voor de gezondheid van morgen:

## Boehringer Ingelheim stelt zich voor:

Boehringer Ingelheim begon haar activiteiten in de chemische en farmaceutische sector in 1885.

Boehringer Ingelheim neemt thans, meer dan honderd jaar later, een belangrijke plaats in op de lijst van de grootste farmaceutische ondernemingen ter wereld.

De belangrijkste doelstelling van Boehringer Ingelheim is het continueren van de activiteiten voor research en ontwikkeling van innovatieve geneesmiddelen.

De onderneming investeerde in 1987 daarvoor een bedrag van 650 miljoen Duitse Markten, hetgeen 20% van haar inkomsten uit farmaceutische producten in dat jaar uitmaakte. In 1988 is hiervoor 643 miljoen Duitse Markten geïnvesteerd, ofwel 19,0% van de totale omzet.

De research-centra van Boehringer Ingelheim bevinden zich in de Bondsrepubliek Duitsland, zowel in Ingelheim als in Biberach, in Oostenrijk (Wenen) en in Italië (Milaan). Voorts zijn er nog research-centra in

Ridgefield in de Verenigde Staten en in Kawanishi in Japan.

Enkele jaren geleden hebben, bij de dochteronderneming Dr. Karl Thomae te Biberach, onderzoek en ontwikkeling op het gebied van recombinant-DNA-technologie hoge prioriteit gekregen.



In samenwerking met Genentech Inc. uit San Francis-co, USA, heeft Boehringer Ingelheim het eerste biotechnologisch verkregen geneesmiddel op het gebied van hart- en vaatziekten -Actilyse- op grote schaal gefabriceerd en klinisch onderzocht. Dit produkt lost stolsels op in o.a. de bloedvaten van het hart, welke de belangrijkste oorzaak van het hartinfarct vormen.

Actilyse wordt geproduceerd in het nieuwe biotechnicum te Biberach, dat op 11 november 1986 in bedrijf

werd gesteld. Deze fabriek, waar alleen Actilyse kan worden geproduceerd, vergde een investering van 135 miljoen Duitse Markten.

Boehringer Ingelheim heeft thans eigen vestigingen in meer dan 80 landen, terwijl haar geneesmiddelen in meer dan 140 landen worden verkocht. In een

aantal prioriteitslanden met eigen vestigingen wordt klinisch onderzoek geëntameerd en begeleid. Nederland is één van de belangrijkste

landen waar relatief veel klinisch geneesmiddelenonderzoek wordt verricht, waardoor Boehringer Ingelheim Alkmaar in Nederland een belangrijke bijdrage levert aan de ontwikkeling van nieuwe geneesmiddelen.



**Boehringer  
Ingelheim**

Boehringer Ingelheim bv  
Postbus 8037  
1802 KA Alkmaar  
Telefoon 072-662463



# NATUUR '90 & TECHNIEK

Losse nummers:  
f 10,95 of 215 F.

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad

## Bij de omslag



Dit kind lijdt aan retinoblastoma, een zeldzame kanker van het netvlies. Voorafgaand aan de radiotherapie wordt met een rode laser precies de plaats van bestraling bepaald. Daartoe is het hoofd van het kind in een plastic helm vastgezet. Een zeer nauwkeurige behandeling is nodig, omdat de straling de ooglen gemakkelijk beschadigt. Over bestraling in de strijd tegen tumoren leest u meer op pag. 648 ev.

(foto: SPL/Joël, Amsterdam)

Hoofdredacteur: Th.J.M. Martens.

Adj. hoofdredacteur: Dr G.M.N. Verschuuren.

Redactie: Drs G.F.M. Hendrickx, Drs T.J. Kortbeek,

Drs E.J. Vermeulen.

Redactiesecretariaat: R.A. Bodden-Welsch, Drs L.P.J. Slangen.

Onderwijscontacten: W.H.P. Geerits, tel.: 0(0-31)4759-1305.

Redactiemedewerkers: Drs J. Bouma, Drs G.P.Th. Kloeg,

A. de Kool, Prof dr H. Lauwerier, Drs J.C.J. Masschelein, Ir S. Ro-

zendaal, Dr J. Willems.

Wetenschappelijke correspondenten: Ir J.D. van der Baan, Dr P.

Bentvelzen, Dr W. Bijleveld, Dr E. Dekker, Drs C. Floor, Dr L.A.M.

v.d. Heijden, Ir F. Van Hulle, Dr F.P. Israël, Drs J.A. Jasperse,

Dr D. De Keukeleire, Dr F.W. van Leeuwen, Ir T. Luyendijk,

Dr P. Mombaerts, Dr C.M.E. Otten, Ir A.K.S. Polderman, Dr J.F.M.

Post, R.J. Querido, Dr A.F.J. v. Raan, Dr A.R. Ritsema, Dr M. Sluy-

ser, Dr J.H. Stel, J.A.B. Verduijn, Prof dr J.T.F. Zimmerman.

Redactie Adviesraad: Prof dr W.J. van Doorenmaalen, Prof dr W.

Fiers, Prof dr H. van der Laan, Prof dr ir A. Rörsch, Prof dr R.T. Van

de Walle, Prof dr F. Van Noten.

De Redactie Adviesraad heeft de taak de redactie van Natuur & Techniek in algemene zin te adviseren en draagt geen verantwoordelijkheid voor afzonderlijke artikelen.

Vormgeving: H. Beurskens, J. Pohlen, M. Verreijt.

Druk.: VALKENBURG OFFSET BV, Echt (L.).

Redactie en administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland: Postbus 415, 6200 AK Maastricht. Voor België:

Boechtstraat 15, 1860-Meise/Brussel. Tel.: 0(0-31)43 254044 (op

werkdagen tot 16.30 uur). Fax: 0(0-31)43 216124.

Voor nieuwe abonnementen: 0(0-31)43 254044

(tot 20.30 uur, óók in het weekend).

Artikelen met nevenstaand vignet resulteren uit het EURO-artikelen project, waarin NATUUR & TECHNIEK samenwerkt met ENDEAVOUR (GB), LA RECHERCHE (F), BILD DER WISSENSCHAFT (D), SCIENZA E TECNICA (I), PERISCOPIO TIS EPISTIMIS (GR) en MUNDO CIENTÍFICO (E), met de steun van de Commissie van de EG.

Gehele of gedeeltelijke overname van artikelen en illustraties in deze uitgave (ook voor publikaties in het buitenland) mag uitsluitend geschieden met schriftelijke toestemming van de uitgever.

Een uitgave van

ISSN 0028-1093

**EURO**  
ARTIKEL



**Centrale uitgeverij en adviesbureau bv.**

---

## INHOUD

---

AUTEURS	VIII
HOOFDARTIKEL/Aanpassing	599
<b>HOMMELS OP BLOEMBEZOEK</b>	<b>600</b>

Met zuinigheid en vlijt

**Manja M. Kwak**

Wie op een mooie dag door een veld met bloemen loopt, ziet vele insecten van bloem tot bloem vliegen. Even lijkt het alsof elk insect in het wilde weg bezig is, maar het tegendeel is waar. Bloembezoek moet voor de plant leiden tot bestuiving en moet het insect in staat stellen voedsel te verzamelen. Een bezoeker staat voor de keuze: welke bloemen uit het enorme aanbod zal hij bezoeken. De veronderstelling dat de bezoeker zo min mogelijk energie zal besteden aan het bloembezoek, maar er zo veel mogelijk energie uit wil halen, kan de keuze van het dier verklaren.



### ELEKTRISCHE GELEIDING

612

Geladen transport

**J.C.J. Masschelein**

Tallose malen per dag gebruiken we elektrische geleiding. 's Avonds levert de dynamo van onze auto stroom aan de lampen en aan de accu: een voorbeeld van elektrische geleiding in een metaal en in een elektrolyt. De straatverlichting en de neonreclames die we onderweg tegenkomen zijn gebaseerd op elektrische geleiding in gas. Als we thuisgekomen de televisie-ontvanger aanzetten, gebruiken we elektrische geleiding in halfgeleiders. Elektrische geleiding in het vacuüm van de beeldbuis maakt tenslotte de spannende film op het beeldscherm zichtbaar.





# NATUUR '90 & TECHNIEK

augustus/ 58<sup>e</sup> jaargang/1990



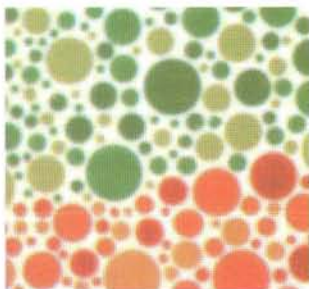
## OPGEGRAVEN EETGEWOONTEN

624

Visresten verhalen het verleden

**D.C. Brinkhuizen**

Bij opgravingen in natte bodems komt men vaak grote aantallen dierlijke resten tegen. Uit archeozoologisch onderzoek blijkt dat botten, die met het blote oog zijn verzameld, voor het merendeel afkomstig zijn van grote en middelgrote zoogdieren, zoals rund, schaap, oeros, ree, hond of kat. Slechts een klein deel van het botmateriaal is afkomstig van vissen. Toch bevatten deze resten een schat aan informatie over de viswereld van het verleden en de wijze waarop de mens daar gebruik van maakte.



## ZICHT OP KLEUR

636

Een bonte geschiedenis

**E. Vervaeke**

De oogarts Huddart beschrijft in 1776 twee broers die geen kleuren konden onderscheiden. Huddart nam enkele proeven met stroken van verschillende kleuren. Over oranje meende een van de getesten stellig: 'Dit is de kleur van gras; dit is groen.' Eeuwenlang vervolgonderzoek heeft uiteindelijk geleid tot een beter begrip van ons kleurencijfer en een verklaring gegeven voor het feit dat kennelijk niet iedereen dezelfde kleuren op gelijke wijze waarneemt.



## RADIOTHERAPIE

648

Theorie uit de praktijk

**H.A. van Peperzeel**

Het behandelen van patiënten met röntgen- of gammastraling berust op proefondervindelijke kennis. Na de ontdekking van deze soorten straling, werd al spoedig geconstateerd dat er in levend weefsel na bestraling veranderingen optreden die soms gunstig en in andere gevallen nadelig zijn. Met vallen en opstaan hebben radiotherapeuten geleerd deze straling toe te passen met gunstig effect voor de mens. Nu kunnen zij elke geschikte tumor op elke willekeurige diepte in het lichaam met een hoge dosis straling te lijf gaan.

## ANALYSE EN KATALYSE

658

Pleidooi voor een postmoderne wetenschap/  
Socjalizmu juz nie ma, pozostal smog

## SIMULATICA/Relaxatie-trillingen

666

## ACTUEEL

668

## PRIJSVRAAG

669

# *wat geen* **STUDIE (-BOEK)** *u kan bieden*



Vele lezers van *Natuur & Techniek* hebben deze maand een nieuwe overstap gemaakt. Voor de jongeren onder hen is dat de overstap van het ene studiejaar naar het andere, of misschien wel van het ene onderwijstype naar het andere. Voor de ouderen onder hen is dat wellicht de overstap van studie naar werk, of zelfs van werk naar studie.

Bij elke overstap moet er een kloof overbrugd worden. Het onderwijs, maar eigenlijk het hele leven, is er vol van: niet alleen de kloof tussen studiejaar en onderwijstypen, maar ook de kloof die vakgebieden, studieprogramma's en modules van elkaar scheidt.

Bij *Natuur & Techniek* is een aantal boeken verkrijgbaar die u helpen die kloof te overbruggen. Deze boeken zijn door onze staf met zorg geselecteerd op een tweetal criteria: ze helpen uw inzicht te **verbreden** door verbanden met andere vakgebieden te leggen. Of ze helpen uw inzicht te **verdiepen** door de samenhang aan te brengen waar geen studieprogramma aan toekomt.

Geen studieboeken dus, maar net iets méér. Daarvoor zijn ze trouwens te goed geschreven en te goed geïllustreerd. Kijkt u zelf maar.

## ENERGIE EN ENTROPIE

DE TWEEDE HOOFDWT VAN DE THERMODYNAMICA

P.W. Atkins

Voor wie het begrip 'entropie' altijd een beetje vaag is gebleven is dit boek een uitkomst. Door de talloze voorbeelden begint de 'entropie' als mate van wanorde' werkelijk gestalte te krijgen.

Door bewust de wiskundige formulering achterwege te laten, vereist Atkins' boek weinig voorkennis. Dit heeft bovendien als voordeel dat de fysica, die veelal verborgen ligt in de wiskundige formules, veel beter tot zijn recht komt.

*"De doelgroep waarvoor het boek geschikt is betreft studenten uit de hoogste klassen van het VWO met een duidelijke interesse voor natuur- en scheikunde en studenten uit het hoger beroepsonderwijs en wetenschappelijk onderwijs die met dit boek een verbreding van hun visie op de wereld van de thermodynamica kunnen verkrijgen."*

Dr.ir. R.A.J. Janssen  
Technische Universiteit Eindhoven  
Vakgroep Organische Chemie





## BOUWSTENEN VAN HET ATOOM

DE WETEN VAN DE NATUURKUNDE

Steven Weinberg

Eigenlijk zijn dit twee boeken, die op een slimme manier met elkaar verweven zijn. Eén boek is het verslag van een reeks hoogtepunten uit de natuurkunde van de 20e eeuw, gebeurtenissen die hebben geleid tot de ontdekking van de deeltjes in het atoom: het elektron, het proton en het neutron. Het andere boek bestaat uit een inleiding tot die grondbeginselen van de klassieke natuurkunde – mechanica, elektriciteit en magnetisme, warmteleer – die bij deze ontdekkingen een belangrijke rol speelden.

Kortom: een overzicht dat inzicht genereert.

## EINSTEIN... EN DAARNA

DE UITWERKING VAN EEN GENIALE GEDACHT

Julian Schwinger

*Einstein... en daarna* benadert de relativiteitstheorie vanuit een populaire hoek, maar maakt toch regelmatig gebruik van wiskundige formules. Wie niet schrikt van gedachtenexperimenten en vertrouwd is

met basisbegrippen uit de wetenschap en de natuurkunde heeft aan *Einstein... en daarna* een goede gids in het lastige gebied van de relativiteitstheorie van Einstein.

"Schwinger's boek is voor mij zonder twijfel het best populariserende werk over Einstein's relativiteitstheorie dat ooit verschenen is. De taal is beeldrijk en levendig. Alle berekeningen staan stap voor stap volledig uitgewerkt in de hoofdstukken. Daardoor is een werk tot stand gekomen dat de leek (en menig student in de fysica!) voor het eerst reële kans biedt om Einstein te begrijpen."

Prof. dr. R.T. Van de Walle  
K.U. Nijmegen

### BOUWSTENEN VAN HET ATOOM

De wetten van de natuurkunde



208 pagina's met 49 afbeeldingen.  
In zwart/wit druk.

Prijs: f 74,50 of 1460 F.

Voor abonnees f 59,50 of 1165 F.

230 pagina's met 104 afbeeldingen.  
In vierkleurendruk en zwart/wit.

Prijs: f 74,50 of 1460 F.

Voor abonnees f 59,50 of 1165 F.

### EINSTEIN... EN DAARNA

De uitwerking van een geniale gedachte



250 pagina's met 200 afbeeldingen.  
In vierkleurendruk en zwart/wit.

Prijs: f 74,50 of 1460 F.

Voor abonnees f 59,50 of 1165 F.

## DE LEVENDE CEL (IN TWEE DELEN)

RONDREIS IN EEN MICROSCOPISCHE WERELD

Christian de Duve

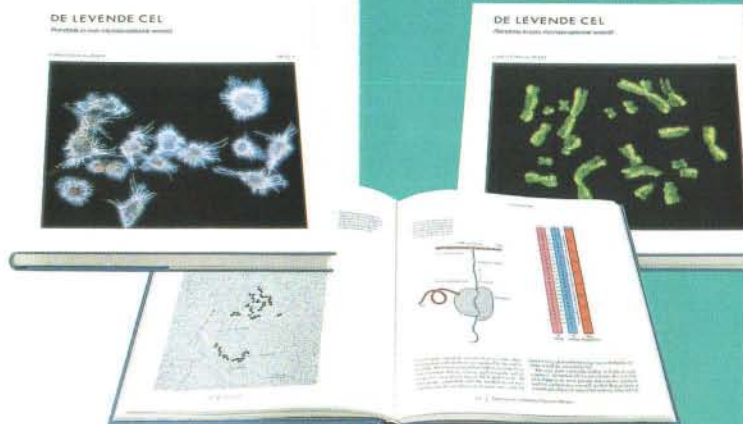
Christian de Duve is de 'peetvader' van de celbiologie en zal dan ook de beste gids zijn om ons in te wijden in de biologie van de levende cel. Zijn gevoel voor presentatie staat ook garant voor de beste illustraties. De aanpak van de twee boeken is uniek: men gebruikt de morfologie van de cel om kennis te nemen van alle biologische en biochemische celprocessen.

*"De wetenschappelijke kwaliteit en het literaire karakter van het boek staan borg voor een boeiende introductie in de celbiologie en de biochemie."*

Prof. dr. W.Th. Daems  
Rijksuniversiteit Leiden

*"Persoonlijk vind ik dit boek een aanrader voor alle eerstejaars biologie en HBO-studenten. Niet alleen vanwege de kwaliteit van tekst en illustraties. Veel meer vanwege de integratie van biochemie, moleculaire biologie en celbiologie."*

Prof. dr. H.O. Voorma  
Rijksuniversiteit Utrecht



228 pagina's met 137 afbeeldingen.  
In vierkleurendruk en zwart/wit.  
Prijs: f 74,50 of 1460 F.  
Voor abonnees f 59,50 of 1165 F.

## MOLEKULEN

CHEMIE IN DRIE DIMENSIES

P.W. Atkins, University of Oxford

Alles wat we aanraken, inademen, eten of drinken bestaat uit molekulen. Alles waarmee we voelen, ruiken en proeven bestaat ook uit molekulen. De interactie tussen bepaalde molekulen bepaalt mede wat we gewaarworden.

Atkins leidt ons rond in deze wereld van molekulen die zoet smaken, die herfstkleuren veroorzaken, die een gevoel van pijn of depressie kunnen oproepen, die zijde zacht doen aanvoelen. Een fascinerend boek dat zich in één ruk laat uitlezen, maar dat zich ook als een 'catalogus' laat hanteren waarin u allerlei stoffen uit onze dagelijkse omgeving beschreven vindt.

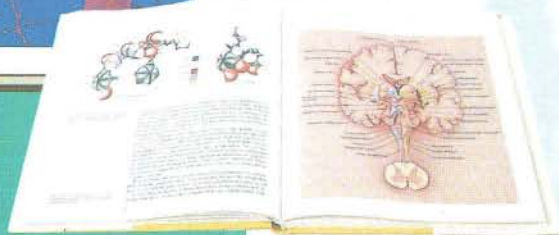
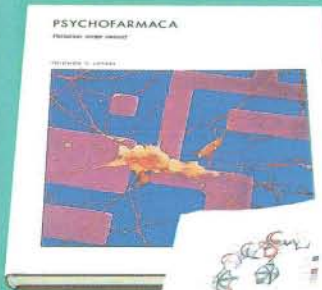
*Dit boek illustreert treffend de slagzin 'chemie is overal'. Het is een beschrijving van de 160 goed gekozen (chemische) stoffen. Door dit op een geraffineerde manier te doen, slaagt de auteur erin een uniek werk te creëren. Fraaie illustraties prikkelen de nieuwsgierigheid zodanig dat de bijbehorende tekst wel geraadpleegd zal worden...*

Prof. dr. D.H.W. den Boer  
Rijksuniversiteit Utrecht



240 pagina's met ca. 200 afbeeldingen.  
In vierkleurendruk en zwart/wit.  
Prijs: f 74,50 of 1460 F.  
Voor abonnees f 59,50 of 1165 F.





Deel 1  
248 pagina's met 200 afbeeldingen.  
In vierkleurendruk en zwart/wit.  
Prijs: f 74,50 of 1460 F.  
Voor abonnees f 59,50 of 1165 F.

Deel 2  
228 pagina's met 140 afbeeldingen.  
In vierkleurendruk en zwart/wit.  
Prijs: f 74,50 of 1460 F.  
Voor abonnees f 59,50 of 1165 F.



208 pagina's met 290 afbeeldingen.  
In vierkleurendruk.  
Prijs: f 74,50 of 1460 F.  
Voor abonnees: f 59,50 of 1165 F.

## PSYCHOFARMACA

HERSENEN ONDER INVLOED  
Solomon H. Snyder

Van 'psychofarmaca' kun je high worden of ziek of weer beter. Deze stoffen, die de hersenfuncties beïnvloeden, worden ten goede of ten kwade, in vele toepassingen aangewend. In het wetenschappelijk onderzoek hebben psychofarmaca enorm veel kennis opgeleverd over de werking van de menselijke hersenen. Snyder

geeft in dit boek een overzicht van de huidige kennis over het functioneren van het menselijk brein en beschrijft een aantal van de experimenten die tot deze kennis hebben geleid.

*"De lezer krijgt een dosis noodzakelijke basiskennis toegediend die hier en daar misschien wat ingewikkeld is. Maar het loont de moeite de auteur te volgen, want plotseling begrijpt de lezer het principe van de werking van geneesmiddelen bij de behandeling van schizofrenie, de ziekte van Parkinson, depressie en angst."*

Prof. dr. D.F. Swaab  
Directeur Nederlands Instituut voor Hersenonderzoek

*"Zeer aan te bevelen aan studerende en werkers in de geestelijke gezondheidszorg."*

Prof. dr. M. Zeegers

## IMMUNOLOGIE

HET MENSELIJK AFWEERSYSTEEM  
J.G. van den Tweel e.a.

Wie enig inzicht wil krijgen in het menselijk afweersysteem, in de ontwikkeling van medicijnen tegen AIDS en kanker, in de problemen bij orgaantransplantaties, in de ontwikkeling van diagnoses met behulp van monoklonale antilichamen of in de achtergronden van allergie-reacties, heeft aan dit boek een uitstekende gids. Het geeft een 'state of the art' van de mechanismen die onze gezondheid reguleren.

*"Omdat dit boek de stand van zaken ook didactisch gezien duidelijk op een rij zet, is het uitermate geschikt als leerboek voor een ieder die tijdens zijn of haar opleiding met de immunologie in aanraking komt."*

C.W. van Verseveld, arts  
Hogeschool Interstudie, Nijmegen  
sector laboratoriumopleidingen

## WERKEN IN HET BUITENLAND

Wilt u van leven veranderen? Zoekt u werk in het buitenland? Zie hier het boek dat u nodig heeft. U vindt er alle inlichtingen in terug evenals de adressen van meer dan 1.000 ondernemingen en uitzendbureau's.

Tegelijkertijd nemen wij de vrijheid u dit boek voor te stellen als een onontbeerlijk middel voor allen die werk zoeken. Alles staat er in, van de werk-aanvraag over het arbeidscontract, informatie over de arbeidsvergunning, visa, tot het klimaat, salarisniveau en verblijfsvoorwaarden in Europa, de Verenigde Staten, Canada, de Antillen en het Verre Oosten.

Geïnteresseerd? Vraag schriftelijk onze gratis brochure aan die u meer inlichtingen zal bezorgen, op het hieronder vermelde adres. Duid daarbij met een kruisje het juiste vak aan:

☐ Boek 'Arbeit im Ausland'.  
Prijs: f 59,-.

☐ Gratis brochure.

Indien het de brochure is die u interesseert verzoeken wij u om aan uw brief een aan uzelf geadresseerde enveloppe toe te voegen die een internationale frankeringcoupon bevat.

**SH BOKFÖRLAG AB** Box 2014  
S-135 02 Tyresö Zweden.

N.B. Wij zijn geen uitzendbureau!

## AUTEURS

**Dr M.M. Kwak** ('Bloembezoek') studeerde biologie aan de RU Groningen. Na haar studie was ze korte tijd lerares, maar ze koos al snel voor onderzoek naar de relatie tussen bloeiende planten en bestuivers. Ze promoveerde in 1979. Mevrouw Kwak is verbonden aan de Groningse afdeling Plantenecologie. Zij is geboren in 's-Gravenhage op 21 september 1949.

**Drs J.C.J. Masschelein** ('Geleiding') is op 4 juni 1947 te Roeselare geboren. Hij studeerde van 1966 tot 1971 natuurkunde aan de Katholieke Universiteit Leuven. Sindsdien is hij docent natuurkunde aan de Philip van Hornescholengemeenschap in Weert. Hij is tevens redactiemedewerker van *Natuur & Techniek*.

**Dr D.C. Brinkhuizen** ('Visresten') is geboren in Groningen op 10 april 1946. Hij studeerde geologie en prehistorie in zijn geboorteplaats. Van 1980 tot 1985 was hij als onderzoeker verbonden aan het Biologisch-Archaeologisch Instituut van de Groningse Universiteit en van 1987 tot 1989 werkte hij aan hetzelfde instituut voor NWO. Hij promoveerde in 1989.

**Dr E.A.Z.M. Vervaeke** ('Kleurenzien') werd in Westdorpe geboren op 13 november 1949. Hij studeerde natuurkunde en psychologie aan de Amsterdamse VU en promoveerde in 1986 aan de Universiteit van Amsterdam. Sinds zijn promotie is hij onderzoeker bij de stichting Histos (psychotherapeutische processen en wetenschapshistorie); daarnaast is hij psychologie docent.

**Prof dr H.A. van Peperzeel** ('Radiotherapie') werd in 1930 in Amsterdam geboren. Na haar studie geneeskunde specialiseerde zij zich in de radiotherapie. Zij promoveerde in 1970. In 1972 werd ze hoogleraar radiotherapie aan de RU Utrecht. Sinds 1986 is ze aldaar lid van het college van bestuur. Daarnaast aanvaardde ze er dit voorjaar een nieuwe benoeming tot hoogleraar.



## Aanpassing

---

De wens opleidingen op alle niveaus beter, zo mogelijk zelfs goed, aan te passen aan de eisen die de arbeidsmarkt stelt, is al een heel oude. Hij is waarschijnlijk net zo oud als het moderne schoolsysteem. Enkele maanden geleden is er weer een rapport verschenen met aanbevelingen waardoor dat streven eindelijk zou moeten slagen. De minister heeft gezegd het rapport interessant te vinden en het zeker grondig te zullen bestuderen; weer een soep dus, die niet zo heel heet zal worden gegeten. De wens tot goede aanpassing is zeer begrijpelijk, evenals de actualiteit ervan: nadat het een jaar of tien zo is geweest, dat er gewoon veel meer werklozen waren dan vacatures, ligt nu het aantal open plaatsen in dezelfde orde als het aantal mensen zonder baan. Maar de kwalificaties van die mensen passen niet in die banen. Het zou goed zijn als het onderwijs zo zou zijn ingericht, dat die discrepantie niet meer voorkomt.

Ook wanneer er niet zulke spanningen op de arbeidsmarkt zijn, is een goede aanpassing van belang, als was het alleen al om de leer- of inwerktijd van een nieuwe kracht te bekorten. Als meneer A volgend jaar met VUT gaat wordt het nu tijd een opvolger te gaan zoeken: die moet worden gevonden (al gauw twee maanden voor een beetje positie), die moet vaak de vorige baan opzeggen (zeker drie maanden), en dan nog het klappen de zweep in dit bedrijf leren, wat toch voor veel hogere posities ook gauw een half jaar duurt. Dat kost ook nog eens een half jaar salaris, waar de werkgever vooralsnog niets voor krijgt.

Toch lijkt een goede aanpassing nog een ververwijderd ideaal. Om te beginnen kan een opleiding niet alles. Een steeds groter deel van het werk krijgt een steeds abstracter karakter; wat wij intelligentie noemen — een veel te zwaar beladen begrip — heeft vooral te maken met abstractievermogen (wie het fraaiste handwerk levert kan dan dom zijn als hij niet over veel abstractievermogen beschikt, wie kan abstraheren hoeft niet eens een spijker recht te kunnen slaan om 'intelligent' te zijn) en het lijkt een gegeven dat niet iedereen dat vermogen even sterk heeft. Op abstractie gerichte opleidingen zijn niet voor iedereen te doen.

Een tweede punt is dat het maken van een opleidingsprogramma, het ontwikkelen van de leermiddelen en dan nog het geven van opleidingen, veel tijd kost. Een perfecte aanpassing aan het begin van deze reeks zou alléén als de ontwikkeling stil stond ook leiden tot een goede aanpassing van de eerste afgestudeerden die op de arbeidsmarkt komen. Hoe specifiek de aanpassing, hoe sneller die is achterhaald. Veeleer lijkt het wenselijk een optimum te zoeken bij het vermogen snel specifieke dingen aan te leren, en op een wat algemener niveau de nieuwe ontwikkelingen te volgen in de opleiding. Dit blad poogt al tientallen jaren juist daarvoor het materiaal aan te dragen.

# HOMMELS OP





# BLOEMBEZOEK

---



## Met zuinigheid en vlijt

Wie op een mooie dag door een veld met bloemen loopt, ziet vele insecten van bloem tot bloem vliegen. Even lijkt het alsof elk insect in het wilde weg bezig is, maar het tegendeel is waar. Er gelden allerlei regels voor bloembezoek. Dat bezoek moet voor de plant leiden tot bestuiving en moet het insect in staat stellen voedsel in de vorm van stuifmeel en nectar te verzamelen. Een bezoeker staat voor de keuze: welke bloemen uit het enorme aanbod zal hij bevliegen. De veronderstelling dat de bezoeker zo min mogelijk energie zal besteden aan het bloembezoek, maar er zo veel mogelijk energie uit wil halen, kan de keuze van het dier verklaren.

De hoeveelheid nectar die een bloem produceert is voor een hommelmel een belangrijk 'argument' om die bloem wel of niet te bezoeken. Om de nectarproductie van de pekanjer te meten worden de bloemen leeggezogen, met een stift gemerkt, omhuld zodat er geen hommels bij kunnen en na zes uur opnieuw leeggezogen.

**Manja M. Kwak**

*Afdeling Plantenecologie  
Rijksuniversiteit Groningen*

Een consument streeft in de ogen van een eco-  
noom een bepaald doel na, namelijk een zo  
groot mogelijk nut halen uit zijn schaarse geld.  
Het gedrag van een dier kan ook worden opge-  
vat als economisch handelen. In dat licht ge-  
zien is het alsof een dier een welomschreven  
doel nastreeft. Daarmee is niet gezegd dat die-  
ren doelbewust handelen, maar om hun gedrag  
te verklaren blijkt het zinvol zo naar dieren te  
kijken.

Laten we ervan uitgaan dat een economisch  
foeragerende hommels zorgt voor een zo gun-  
stig mogelijke verhouding tussen energie-uit-  
gaven en -inkomsten: ze streeft optimalisatie  
na. Dan zijn haar overlevingskansen het  
grootst. Het nastreven van twee verschillende  
doelen, bijvoorbeeld voorzien in de behoefte  
aan suikers en in die aan eiwitten, kan tot  
gevolg hebben dat geen van beide optimaal  
wordt bereikt. De winst zit hem dan in de com-  
binatie waarbij het dier voor beide doelen een  
compromis bereikt.

Een dergelijk compromis kan slechts tot  
stand komen als het dier keuzen maakt; op  
welk moment investeert het in welke activi-  
teit. Met behulp van de *optimal-foraging*-  
theorie kunnen biologen die keuzen verklaren.  
De theorie stelt dat dieren hun voedsel doelm-  
tig – economisch – vergaren.



1. Hommels onderschei-  
den bloemen niet alleen vi-  
sueel, maar ook door de  
geur. Dieren die zijn ge-  
traind op de geur van één  
soort bezoeken in een

geurproef slechts de nep-  
bloem waarin de hen be-  
kende soort verborgen zit.  
Middenin de 'bloem' be-  
vindt zich suikerwater in  
plaats van nectar.

## Bestuiving

Stuifmeel kan op verschillende manieren een passen-  
de stempel bereiken: door de wind, via het water of  
door dieren. Windbestuiving is bekend van onder  
andere grassen, zuring en dennen en berucht vanwe-  
ge de hooikoorts die het rondvliegende pollen ver-  
oorzaakt. Waterbestuiving is zeldzaam, maar komt  
voor bij zeegras en enkele fonteinkruiden. Bij verre-  
weg de meeste soorten bestuiven dieren, vooral in-  
sekten, de bloemen. De meeste dieren bezoeken  
bloemen om voedsel te verzamelen: nectar (suikers,  
energie) en/of stuifmeel (eiwitten, opbouw). Vaak  
vinden ze in de bloemen ook andere nuttige produk-  
ten, zoals voedingsweefsel, olie, hars en geurstoffen.  
Bovendien kan de beschutting die een bloem biedt  
een rol spelen, evenals de mogelijkheid er een part-  
ner te ontmoeten of eieren af te zetten.

Aan de bouw, de kleur en de hoeveelheid nectar  
en stuifmeel van een bloem is vaak al te zien hoe een  
bepaalde soort bestoven zal worden. Insektenblo-  
men hebben vaak honingmerken. Dit zijn patronen,  
streepjes of vlekjes, die de weg naar de nectar wij-  
zen. Vaak blijkt dat in UV-licht nog meer patronen  
zichtbaar zijn. Insekten zijn, in tegenstelling tot  
mensen, in staat om UV waar te nemen, maar zijn  
niet gevoelig voor rood licht. Ook geur kan de weg  
naar de nectar wijzen. Bloemen die door vogels  
bestoven worden missen geur en UV-patronen en  
zijn vaak rood gekleurd. Bovendien hangen ze vrij

## Hommels en bloemen

Hommels lenen zich uitermate goed voor de  
bestudering van bloembezoek. Van hun le-  
venswijze is veel bekend, ze laten zich in het  
veld gemakkelijk observeren en lenen zich  
voor gebruik in proefopstellingen. Bovendien  
draait het hele hommelleven om stuifmeel en  
nectar die de dieren uit de bloemen halen.  
Hommelnesten drijven op individueel initia-  
tief. Elke hommel moet zelf leren op welke  
bloem ze terecht kan. Dit in tegenstelling tot  
honingbijvolken, waarin individuen samen-  
werken en elkaar via een communicatiesys-  
teem op de hoogte stellen van goede voedsel-  
bronnen.

Hommels voorkomen dat ze twee maal kort  
achtereen dezelfde bloem bezoeken, bijvoor-  
beeld door de bezochte bloemen chemisch te  
merken. Door langwerpige bloeiwijzen van  
onder naar boven te bezoeken vermijden hom-



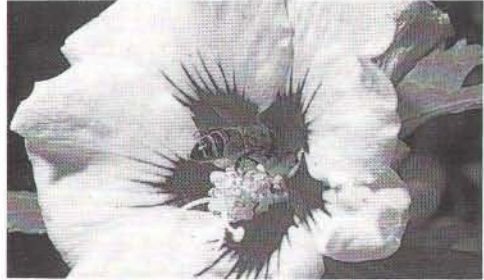


I-1

van het gebladerte, zodat de ervoor vliegende kolibries de nectar ongehinderd kunnen opzuigen. Windbestuivers produceren geen nectar wel veel niet-kleverig stuifmeel, in meeldraden die buiten het bladerdek bungelen. De stuifmeelkorrels hebben soms nog

I-1. Op de bestoven stempel van gele ogentroost bevindt zich tussen het soorteigen stuifmeel ook een soortvreemde korrel. Bestuiving is het proces waarbij stuifmeel terechtkomt op de stempel van een geschikte bloem.

I-2. Voor veel planten zijn bestuivers van levensbelang. Bloemen, zoals deze stokroos, bevatten vaak honingmerken – patronen die het insect de weg naar de nectar wijzen. Veel soorten vertonen in UV-licht nog meer patronen.



I-2

speciale voorzieningen zoals luchtzakken waardoor ze nog gemakkelijker door de wind kunnen worden meegenomen. De bloemen van windbestuivers zijn meestal groen van kleur, hoewel ze door de enorme hoeveelheid stuifmeel vaak geel of roze lijken.

mels herbezoek. Voor de plant heeft dit duidelijke voordelen. Verschillende soorten met lange bloeiwijzen, zoals wilgeroosje (*Chamerion angustifolium*) en vingerhoedskruid (*Digitalis purpurea*), zijn *protandrisch*, dat wil zeggen dat de bloemen eerst een mannelijk en daarna een vrouwelijk stadium doorlopen. Aangezien deze planten onderaan beginnen te bloeien bevinden zich daar dus de vrouwelijke bloemen en hogerop de mannelijke. Als de hommels de bloeiwijze van onder naar boven afwerkt, worden de vrouwelijke bloemen eerst bezocht, zodat ze stuifmeel ontvangen van mannelijke bloemen van een andere plant.

### Beslissingen

Welke 'beslissingen' moet een hommel nemen om op een doelmatige wijze voedsel te verzamelen? De eerste beslissing wordt bij het verlaten van het nest genomen: wat is daar nodig –

stuifmeel, dat vooral eiwitten levert, nectar, dat boordevol suikers zit, of beide. Het gaat er de hommel om door zo weinig mogelijk energie te besteden zoveel mogelijk energie en bouwstoffen binnen te halen. De 'laadcapaciteit' van een hommel is echter beperkt: de honingmaag (nectarmaag zou een passender woord zijn) heeft een inhoud van zestig tot tweehonderd microliter, afhankelijk van de hommelsoort en de grootte van het dier. Bij een gemiddeld nectarvolume van 0,2  $\mu\text{l}$  per bloem betekent dit dat na vijfhonderd bloemen (100  $\mu\text{l}$ ) de maag vol is. Bij een foerageersnelheid van twintig bloemen per minuut duurt dit vijftwintig minuten. Hoe geconcentreerder de nectar, des te efficiënter kunnen hommels suiker verzamelen. De dieren nemen stuifmeel mee in korfjes aan hun achterste poten, maar ook die ruimte is beperkt.

Om op de hoogte te blijven van het steeds wisselende nectaraanbod bezoeken hommels

2. De verborgen nectar in de sporen van de rode akelei is zichtbaar door het tegenlicht. Akeleien pro-

duceren tamelijk veel nectar. Deze rode soort wordt bezocht en bestoven door kolibries.



2



3

een *major*-plantesoort (de belangrijkste) en één of enkele *minor*-soorten. Vermindert de opbrengst op de major-soort dan stapt de hommels over op een van de minoren, die dan de nieuwe major wordt. Hommels zijn dus tot op zekere hoogte bloemvast, maar tevens plaatsvast. Ze gaan vaak naar hetzelfde gebied en vliegen een vaste route, maar met een zekere tussenpoos, om de plant de tijd te geven de nectar aan te vullen.

Zo moet een hommel ook beslissen of zij ver weg naar een rijke voedselbron of dichtbij haar nest op een soort met een lagere opbrengst vliegt. Vliegt de hommel drie kilometer ver, dan heeft ze daar heen en terug, met een vliegsnelheid van vijftien kilometer per uur, 24 minuten voor nodig. Dat kost weliswaar energie, maar veel belangrijker is het tijdverlies. In die 24 minuten had de hommel dichtbij het nest energie kunnen verzamelen tegen lage transportkosten.

### Kosten en baten

Om er achter te komen of hommels zich gedragen volgens de optimal-foragingtheorie moet een kosten-batenanalyse van de voedselvlucht worden gemaakt. De kosten en baten zijn te meten als afstanden die worden gevlogen en gelopen, welke bloemen worden bezocht en hoeveel nectar die bevatten.



4



Toch blijkt het in de praktijk moeilijk te zijn om de gehele voedselvlucht, van het moment dat het nest wordt verlaten tot het moment dat de hommels terugkeert, te volgen. Er zijn verschillende indirecte methoden. De totale duur van een voedseltocht kan worden afgeleid uit de periode die de hommel buiten het nest verblijft. De bezochte plantesoorten kunnen worden afgeleid uit de samenstelling van de stuifmeelklompjes en de soorten stuifmeel die zich nog op het lichaam bevinden. De herkomst van de nectar in de honingmaag is niet te achterhalen. Verdere kosten en baten van een voedselvlucht worden afgeleid door gedurende een deel van de vlucht het bloembezoek, het lopen, het vliegen enzovoort te meten, met de bijbehorende beloning. Bij het verklaren van bloemkeuzen door insecten vindt deze benadering de meeste navolging.

Het meten van het volume en de concentratie van nectar in bloemen is gemakkelijk. Belangrijk is dat men voor het meten van de inhoud dezelfde bloemen kiest als de hommels doen — bijvoorbeeld alleen één dag oude bloemen en dus niet de bloemen van twee of drie dagen oud.

Helaas is niet precies bekend hoe een hommel selecteert. Misschien ruikt ze de aanwezigheid van nectar, wat de onderzoeker meestal niet kan. Daarom kan de gemeten hoeveelheid nectar wel eens lager uitvallen dan de door de hommel vergaarde. Bij het meten van het volume is ook de variatie tussen individuele bloemen van belang. Een hommel heeft bij een zelfde gemiddelde waarde liever tien maal een klein beetje, dan negen maal niets en één maal heel veel nectar; dat is een vorm van risicospreiding.



5

3. In Nederland komt de wilde weide nog slechts in één natuurlijke populatie voor. Hommels bezoeken de plant maar af en toe; het is voor hen een *minor*-soort.

4. De zandbij *Andrena hortifera* bezoekt uitsluitend enkele soorten uit de kaardebolfamilie, zoals duifkruid en vroeg in het seizoen ook knautia.

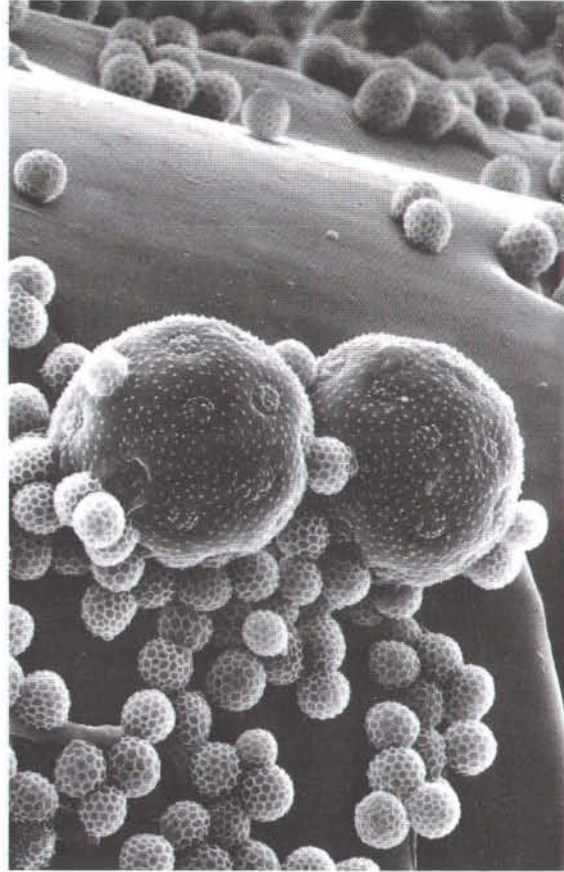
5. Bij de bloemen van de wonderboom vallen alleen de meeldraden van de mannelijke bloemen op. Toch weten honingbijen ze te vinden.

### Twee nauwverwante soorten

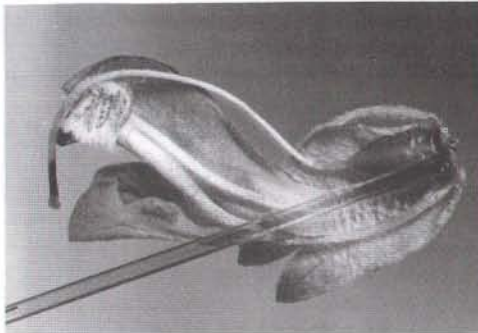
De bloemen van de ratelaar zijn echte hommelmelbloemen. Alleen hommels zijn sterk genoeg om de bloem binnen te gaan. De grote (*Rhinanthus angustifolius*) en kleine ratelaar (*R. minor*) komen naast elkaar voor en vertonen een overlap in bloeitijd. Hommels hebben dus de keuze uit twee planten, die beide stuifmeel en nectar leveren. De nectar van de grote ratelaar heeft een hoger suikergehalte dan die van de kleine. De hoeveelheid nectar is daarentegen in de kleine ratelaar veel constanter dan in de grote. Of een hommelmel op één of op beide soorten ratelaar terecht kan, hangt samen met de tonglengte van het dier en de lengte van de bloembuis.

Hommels met een lange tong, zoals de tuinhommel (*Bombus hortorum*), kunnen terecht op beide soorten maar ze vertonen een sterke voorkeur voor de grote ratelaar. Die plant levert ze tegelijkertijd het grootste volume nectar met de hoogste concentratie en het meeste stuifmeel.

De akkerhommel (*B. pascuorum*) heeft een middellange tong en ondervindt op de kleine ratelaar geen problemen maar op de grote wel. Wil zo'n hommelmel toch de nectar in de grote ratelaar bereiken dan schroeft ze zich als het ware naar binnen. Ze is dan uiteindelijk een kwart tot een halve slag om haar lichaamsas



7



6

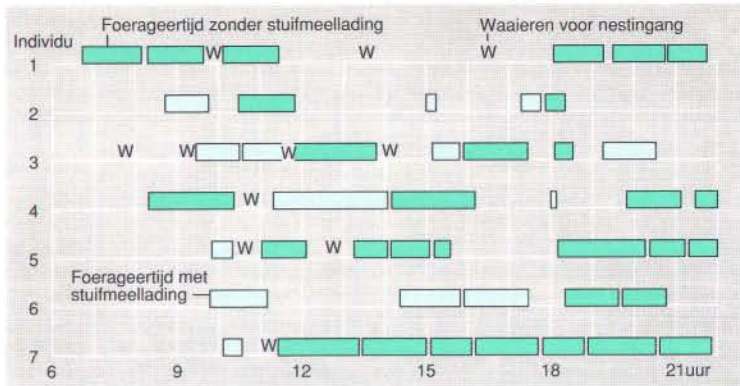
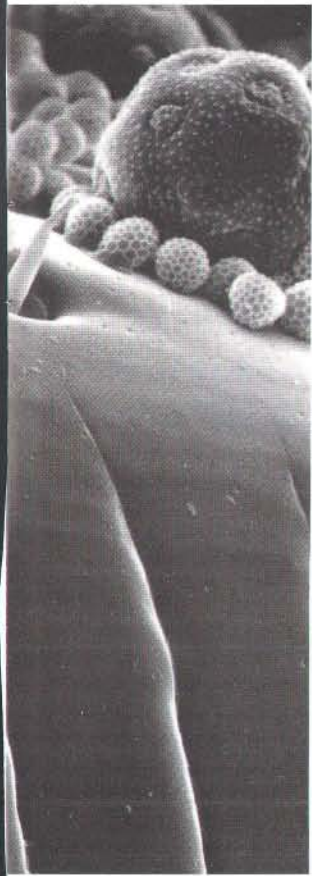
6. Met een capillair kan het nectarvolume in een bloem worden gemeten. Voor een zinvolle meting is het belangrijk dat de onderzoeker dezelfde bloe-

men selecteert als de hommels zouden doen, hoewel niet altijd even duidelijk is welke criteria de natuurlijke bezoekers hanteren.

gedraaid. Dit kost kracht en energie. De akkerhommel is van alle hommelsorten de enige die op één voedselvlucht vaak een bezoek aan beide ratelaars combineert. Bezoek aan de kleine ratelaar levert minder op maar kost ook minder energie. De beloning is zekerder doordat de variatie in nectarvolume veel kleiner is dan bij de grote ratelaar en juist deze geringe variatie bij eenzelfde gemiddeld volume geniet bij hommels de voorkeur.

Hommels met een korte tong kunnen in geen van beide soorten de nectar via de bloembuis bereiken. Aardhommels (*B. terrestris*) lossen dit probleem op met de methode 'diefstal met inbraak'. Ze bijten gaatjes in kelk en kroon van de grote ratelaar en zuigen hierdoor de nectar op. Dit bijten kost energie en tijd (soms wel acht seconden), maar het grote voordeel is dat die gaatjes meerdere malen





8



9

7. De korrels op de tong van een glasvleugel-pijlstaart verraden dat het insect een pekanjer (grote stuifmeelkorrels) heeft bezocht die met roest (kleine sporen) is geïnfecteerd.

8. Zo benutten zeven werksters van een boomhommelnest hun tijd op een zomerdag. De gemiddelde tijd die een werkster aan foerageren besteedde was 7 uur en 51 minuten.

9. Allerlei activiteiten van een insect met rugnummer, zoals bloembezoek en vliegafstanden kunnen een paar weken worden gevolgd. Deze hommel bezoekt de met roest geïnfecteerde bloemen van een pekanjer; de bloemen produceren in plaats van stuifmeel een hoeveelheid sporen. Het bezoekende insect kan die overdragen op gezonde bloemen.

kunnen worden gebruikt. Door met tussenpozen dezelfde bloemen, die intussen de tijd hebben gehad om nectar aan te maken, weer te bezoeken, is het rendement van deze methode erg hoog. Ook andere individuen van dezelfde of andere hommelsorten en zelfs honingbijen (*Apis mellifera*) profiteren van deze gaatjes.

Waarom maken korttongige hommels geen gaatjes in de kleine ratelaar? Hier zijn twee verklaringen voor. Ten eerste: de kelk is zo dik en stug dat het op de kleine ratelaar meer energie kost dan op de grote. Ten tweede: als er toch een gat moet worden gebeten dan is het voordeliger dit op de grote ratelaar te doen omdat die betere nectar levert.

Bij de voorkeur van hommels voor de grote of kleine ratelaar zijn zowel het volume als de concentratie van de nectar van belang. Bovendien verschillen de ratelaarsoorten in de sui-

kers die zich in de nectar bevinden. De suikers fructose, glucose en sucrose komen in beide soorten voor, maar rhamnose en lactose alleen in de kleine ratelaar. Tot nu toe is alleen bij korttongige hommels de voorkeur voor bepaalde combinaties van suikers onderzocht. Ze blijken een voorkeur te vertonen voor nectar waarin de drie suikers in gelijke verhouding voorkomen. De nectar van de grote ratelaar benadert deze verhouding beter dan de nectar van de kleine ratelaar. Misschien is juist de samenstelling van de nectar van de kleine ratelaar aantrekkelijk voor de akkerhommel.

#### Twee niet-verwante soorten

In Zweden komen de roze gekleurde pekanjer (*Lychnis viscaria*) en de geelbloemige hengel (*Melampyrum pratense*) gezamenlijk voor; ze

beginnen gelijktijdig te bloeien rond eind mei, begin juni. Tuinhommelkoninginnen vinden in de pekanjer een rijke bron aan nectar met een suikerconcentratie van 16 tot 32%. Hengel bevat ook nectar; het volume is geringer, de concentratie is 39 tot 42%. Welke keuze maakt de tuinhommel? Aanvankelijk bezoekt ze de eerste bloemen van de pekanjer die zich aan de top van de bloeiwijze bevinden. Maar al snel worden de hengelbloemen ontdekt. De eerste bloemen bevinden zich juist onderaan de bloeiwijze, verborgen tussen de bladeren. Voordat de pekanjer de piek van de bloei heeft

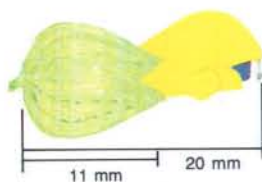
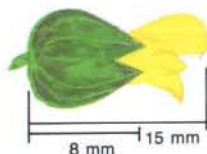
bereikt, verlaat de tuinhommel die soort om vooral op hengel te vliegen.

Op de pekanjer kan een hommel per minuut drie maal zo veel nectar-energie verzamelen als op de hengel (Intermezzo II). En toch stapt de tuinhommel over van de pekanjer naar de hengel. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat ten behoeve van de larven in het nest de koningin steeds meer stuifmeel nodig heeft en dit kennelijk niet in voldoende mate op de pekanjer kan vinden. Slechts een deel van de pekanjerbloemen levert stuifmeel omdat de soort protandrisch is. Specialisatie van de tuinhom-



10

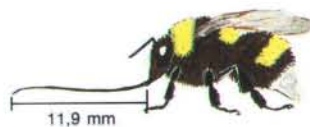
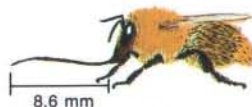
10. Sommige plantesoorten leveren hun stuifmeel als pakketjes. De bedoeling is dat dit pakketje wordt afgezet op de stempel van een volgende bloem, maar soms gebeurt dat niet en ondervindt het insect hinder van de vele pakketjes oplijf en poten, zoals deze hommel op een zijdeplant.

*Rhinanthus angustifolius**Rhinanthus minor*

11. De bloem van deze grote ratelaar heeft gaatjes in kelk en kroon, gemaakt door korttongige, nectar-verzamelande hommels. Na de inbraak steelt de hommel de nectar uit de bloem.



11

*Bombus hortorum**Bombus pascuorum**Bombus terrestris**Apis mellifera*

12





13

12. Bloemen van grote en kleine ratelaar en drie soorten hommels en de honingbij met hun tonglengtes. De lengte van de tong bepaalt of het insect wel of niet via de bloembuis de nectar op de bloembodem kan bereiken.

13. Een paar glasvleugelpijlstaarten hebben elkaar op een pekanjer gevonden. Doordat beide partners nectar verzamelen op dezelfde plantensoort is de kans dat ze elkaar tegenkomen groot.

14. Bloembezoek is niet altijd zo ongevaarlijk als het lijkt. Krabspinnen of bloemspinnen hebben dezelfde kleur als de bloem en verbergen zich bewegingsloos tot een insect, in dit geval een zweefvlieg, geland is, om vervolgens genadeloos toe te slaan.

15. Een gezonde bloem van een pekanjer in het mannelijk stadium; het stuifmeel is grijs-blauw van kleur.



14



15

## Een kosten/baten-analyse

Een hommelm kan haar tijd besteden aan foerageren (naar en van het foerageergebied vliegen, een bloem bezoeken en van bloem tot bloem vliegen) en aan taken binnen het nest (larven voeden en het nest warm houden of verdedigen). De energie die nodig is voor al deze verrichtingen haalt een hommelm uit de nectar van de bloemen die zij bezoekt. Een foeragerende hommelm met een gewicht van twee tiende gram, moet de temperatuur van haar borststuk op peil houden om te kunnen vliegen. Dit kost, bij een luchttemperatuur van minder dan  $25^{\circ}\text{C}$ ,  $2,26 \text{ J} \cdot \text{min}^{-1}$ . Bij een hogere luchttemperatuur is minder energie nodig. Lopen is goedkoper dan vliegen, dus wanneer een hommelm op één bloeiwijze veel bloemen kan bezoeken (bijvoorbeeld op het bloemhoofdje van een klaver) is dat voordelig.

In dit voorbeeld vergelijken we de winst die een hommelm boekt bij het bezoek van hengel en pekanjer. Om de vlieggkosten te berekenen moeten we meten hoeveel tijd het dier aan vliegen besteedt. Via een omweg volgt dit uit de duur van bloembezoek, het aantal bezochte bloemen per bloeiwijze per minuut en het aantal bezochte bloeiwijzen per minuut. Voor hengel en pekanjer gelden gemiddelde vliegtijden van respectievelijk 42 en 39 seconde per minuut foerageren. De vliegtijden verschillen nauwelijks, wat betekent dat de kosten per minuut foerageren ook niet veel verschillen. De energiekosten om de nectar op te zuigen laten we hier buiten beschouwing.

De baten zijn afhankelijk van de hoeveelheid en

Tabel II-1 Nectar per bloem

	Hengel	Pekanjer
Volume ( $\mu\text{l}$ )	0,13	0,43
Concentratie (%)	41,9	31,8
Suiker (mg)	0,06	0,17
Energie-inhoud (J)	0,9	2,6

Tabel II-2 Foerageergegevens tuinhommel

	Hengel	Pekanjer
Bezochte bloemen ( $\text{min}^{-1}$ )	17,8	20,7
Energie-opname ( $\text{J} \cdot \text{min}^{-1}$ )	16,0	53,8
Vlieggkosten ( $\text{J} \cdot \text{min}^{-1}$ )	1,6	1,5
Energiewinst ( $\text{J} \cdot \text{min}^{-1}$ )	14,4	52,3

de concentratie van de nectar die de hommelm verzamelt. Om de opbrengst van een vlucht te achterhalen spelen we zelf voor hommelm. We halen met een glascapillair nectar uit de bloemen en bepalen zo hoeveel er beschikbaar is. Vervolgens bepalen we de nectarconcentratie met een veld-refractometer die aangepast is aan zeer kleine volumes. De werking van een



16. Hommels laten zich, wanneer ze op een bloem zitten, gemakkelijk vangen met een eenvoudig vliedernet. Door een bekend aantal hommels van een merkteken te voorzien en weer los te laten, kan na een latere vangst de populatiegrootte geschat worden uit de verhouding tussen de gemerkte en de ongemerkte hommels.





II-1. Sommige soorten produceren per bloem weinig nectar, maar door de rangschikking van vele bloemen in een bloemhoofdje, zoals bij dit zeeuws knooppje, of in een dichte aar, kan een bezoekend insect zonder te vliegen toch veel energie verzamelen.

II-1

refractometer berust op het verband tussen concentratie en brekingsindex van een opgeloste stof. Dat is voor alle in nectar voorkomende suikers (onder andere glucose, fructose en sucrose) gelijk.

De hoeveelheid suiker per bloem is eenvoudig te berekenen uit het volume en de concentratie, waarbij de omrekeningsfactor 1,2189 nodig is. Door ver-

menigvuldigen met 15,5 rekenen we de hoeveelheid suiker in milligram om in de energie-inhoud in joule. Hengel en pekanjer leveren respectievelijk 0,9 en 2,6 J per bloem. Per minuut foerageren kan een hommelt op hengel 16,0 J en op pekanjer 53,8 J verzamelen (energie per bloem maal het aantal bezochte bloemen per minuut).

mel op mannelijke bloemen zou eventueel een oplossing zijn, die overigens voor de plant erg ongunstig uitpakt. Opvallend is dat dit niet gebeurt. Omdat de tuinhommel bij voorkeur nectarverzamen in één bezoek met stuifmeelverzamen combineert, stapt ze over op hengel, waar ze beide tegelijk kan verzamelen.

Betrekken we naast het doel nectar te vergaren ook het streven naar stuifmeelverzamen in de optimal-foragingtheorie, dan kan dat verklaren waarom de tuinhommel overstapt op hengel. Twee doelen vereisen een compromis. Op hengel bereikt de hommelt dat tegen de laagste investering. De optimal-foragingtheorie, toegepast op de bloemkeuze van hommels, is een belangrijk middel om die keuze te verklaren. Juist de gevallen waarvoor de theorie aanvankelijk niet lijkt op te gaan, prikkelen de onderzoeker om verder te zoeken.

#### Literatuur

- Gould JL, Gould CG. The honey bee. New York: Scientific American Library, 1988.
- Gras E Le, Prins H. Meeste stemmen gelden - Besluitvorming bij dieren. *Natuur & Techniek* 1989; 57: 12, 966-975.
- Heinrich B. Bumblebee economics. Cambridge: Harvard University Press, 1981.
- Jennersten O. Pollination and fungal disease transmission; Interaction between *Viscaria vulgaris*, *Ustilago* and insects. *Acta Univ. Ups.* 1985; 793: 1-30.
- Kwak, MM. The role of bumblebees in the pollination and variation of some Rhinanthoideae (Scrophulariaceae). Proefschrift RU Groningen, 1979.
- Prýs-Jones O, Corbet SA. Bumblebees. *Naturalists' Handbook* 6. Cambridge University Press, 1987.

#### Bronvermelding illustraties

- Ola Jennertsen, Uppsala, S: 600-601, 7, 9 en 13  
Naar Herbert Prins, Haren: 8  
De overige afbeeldingen zijn afkomstig van de auteur.





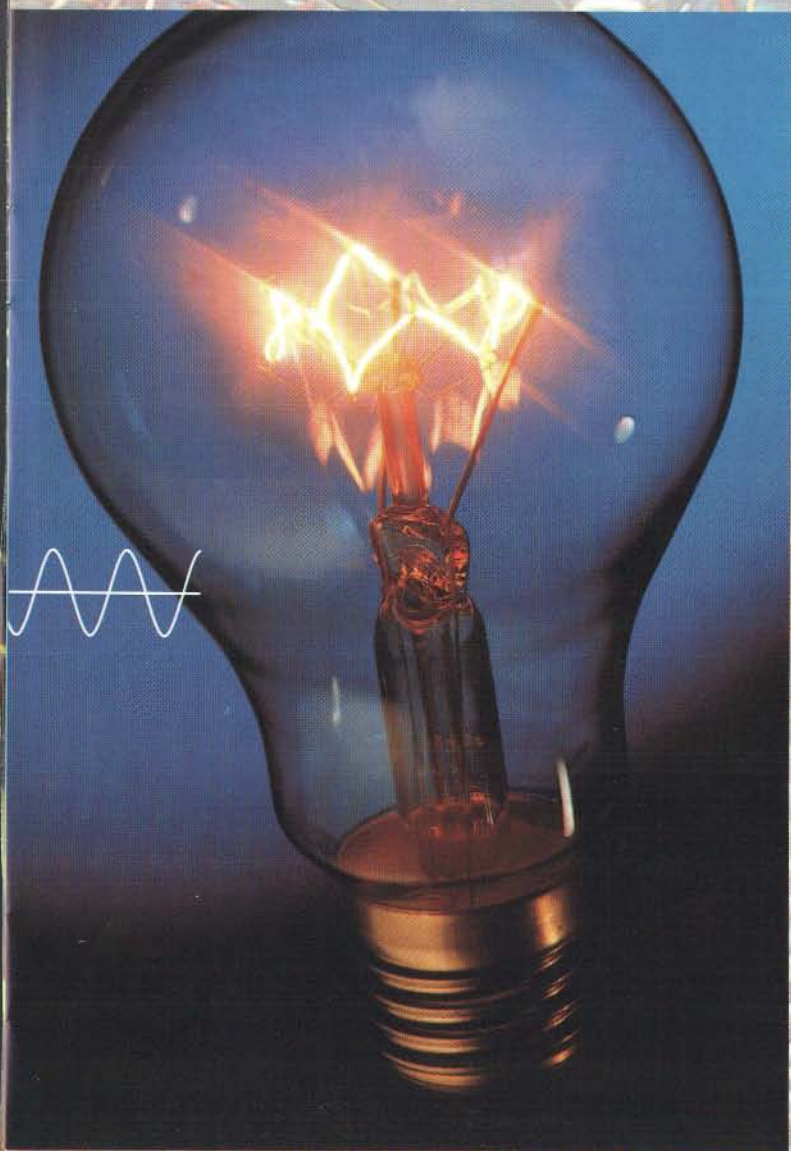
# Elektrische geleiding



## GELADEN TRANSPORT

Elektrische geleiding is niet meer weg te denken uit ons leven. We maken er dagelijks gebruik van zonder dat we stilstaan bij de verscheidenheid aan geleidingsmethoden. Er is nogal een verschil tussen het ladingstransport in een hoogspanningsleiding, een televisiebuis en een accu. De laatste jaren zijn daar begrippen bijgekomen als halfgeleiders en supergeleiding. We gebruiken elektriciteit op steeds meer manieren in onze maatschappij.





De weerstand van een materiaal is omgekeerd evenredig aan het geleidingsvermogen. Bij het aanleggen van leidingen maakt men vaak gebruik van koperdraad omdat koper een goede geleider is. In een gloeilamp benut men de weerstand van de gloeidraad. Tijdens het stromen van elektronen stijgt door de weerstand de temperatuur van de gloeidraad dusdanig, dat de gloeidraad zichtbare straling uitzendt.

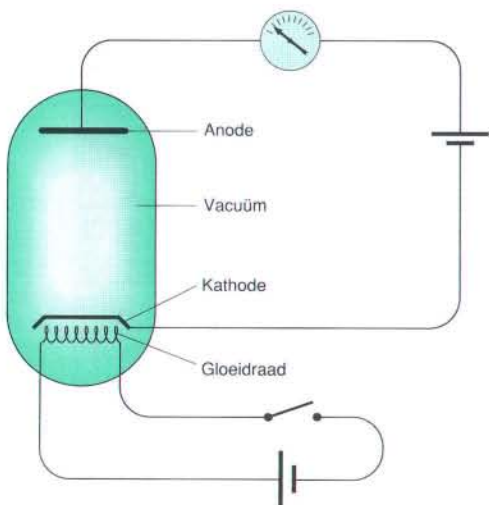
J.C.J. Masschelein  
Weert



Bij iedere vorm van elektrische stroom die we kennen, hebben we te maken met transport van talloze 'ladingdragers' zoals elektronen of ionen. De kleinste hoeveelheid elektrische lading is de lading van een elektron of een proton. Er zijn  $6,25 \cdot 10^{18}$  elektronladingen nodig om een lading van één coulomb (1 C) te verkrijgen. Het stromen van elektrische lading is het gevolg van een potentiaalverschil, of spanning, tussen begin- en eindpunt van de geleider. Een potentiaalverschil wordt uitgedrukt in volt (V). De hoeveelheid lading die per seconde door een doorsnede van de draad stroomt, noemen we de elektrische stroomsterkte, die wordt uitgedrukt in ampère (A). De stroomsterkte in een geleider bedraagt 1 A als er per seconde 1 C door een doorsnede stroomt. Deze hangt af van de grootte van de spanning en een aantal kenmerken van de geleider zoals lengte, doorsnede en materiaal. Als een lading van 1 C van een bepaalde plaats naar een andere stroomt waartussen een spanning van 1 V staat, komt er een energie van 1 joule vrij. De soortelijke geleiding van een materiaal heeft als eenheid siemens per meter ( $S \cdot m^{-1}$ ).



2



1

1. Er loopt een stroom tussen de elektroden in een vacuümbuis als de gloeidraad wordt verwarmd. De

elektronen komen vrij uit de verwarmde kathode en verplaatsen zich door het vacuüm.

### Geleiding in vacuüm

Een eenvoudige proef laat zien dat elektrische geleiding slechts kan plaatsvinden als er vrije beweegbare ladingdragers aanwezig zijn (afb. 1). Zolang de kathode niet wordt verhit, geeft de ampèremeter aan dat de stroomsterkte in de schakeling gelijk is aan nul. Slechts bij verwarming van de kathode tot gloeitemperatuur vertoont de ampèremeter een uitslag. Er loopt dan een stroom waarvan de stroomsterkte blijkt af te hangen van de kathodetempera-  
tuur: door verhitting van de kathode kunnen de negatief geladen elektronen vrijkomen uit het kathodemateriaal, waarna het elektrische veld deze elektronen in de richting van de anode versnelt. Als de elektronen de anode bereiken, hebben ze een hoge snelheid en bezitten dus veel kinetische energie. Door het inslaan van energierijke elektronen op de anode kan de temperatuur van de anode oplopen tot de gloeitemperatuur.

Hiermee ontdekken we een andere eigenschap van een elektrische stroom: een elektri-





2 en 3. De verlichting van voetbalstadions heeft de laatste jaren een forse verbetering ondergaan. Ook in het voetbalstadion in Genua, waar enkele voorronden tijdens het WK werden gespeeld, zijn de verblindende lichten vervangen door speciale gasontladingslampen (3). Deze metaalhalidelampen geven een lichtschijnsel dat het hele zichtbare spectrum omvat.

3

sche stroom zet elektrische energie van deeltjes die aan de stroom deelnemen om in andere vormen van energie. In een gloeilamp wordt elektrische energie van de ladingdragers omgezet in warmte (en licht). Een elektromotor zet de elektrische energie om in mechanische energie.

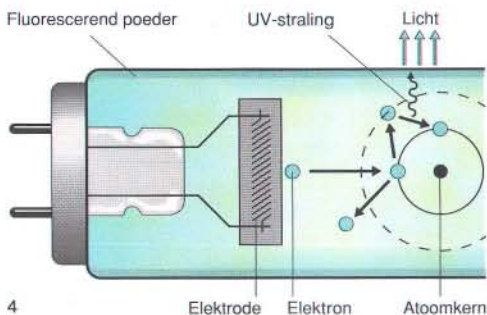
Geleiding in vacuüm is alleen mogelijk als een van de elektroden geladen deeltjes uitzendt. De hiervoor benodigde energie kan men op meer manieren aan een metalen elektrode overdragen. De methoden waarmee men elektronen uit een metaal vrijmaakt, worden besproken in de paragraaf over klassieke geleiding.

Indien alle vrijgemaakte ladingdragers aan de geleiding deelnemen is de stroomsterkte onafhankelijk van het aangelegde potentiaalverschil. We spreken dan van verzadigingsstroomsterkte. Deze ligt — afhankelijk van de temperatuur — in de orde van  $10^4 \text{ A} \cdot \text{m}^{-2}$  kathodemateriaal. Bij verlaging van de spanning bouwt zich rond de kathode een wolk van elektronen op. Deze wolk bepaalt dan hoe de geleiding verloopt.

### Geleiding in gassen

Gassen geleiden in normale omstandigheden niet omdat zij bestaan uit afzonderlijke molekulen of atomen die elektrisch neutraal zijn. Als er toch geleiding in een gas plaatsvindt, spreken we van een gasontlading. Een gasontlading gaat gepaard met het uitzenden van licht en wordt daarom veel in lampen toegepast. Voorbeelden hiervan zijn de alom bekende TL-lamp, de gele natriumlamp (straatverlichting), de hoge-druk-natrium- en kwiklampen (verlichting van sportvelden) en de neonreclames (afb. 3 tot en met 6).

In de buis bevindt zich een hoeveelheid gas, meestal onder verlaagde druk. In de buis zijn twee elektroden, een anode en een kathode, aangebracht. Naast de talloze neutrale gasatomen zijn in een gas ook altijd enkele vrije elektronen en positieve gasionen aanwezig die ontstaan bij absorptie van de alom aanwezige kosmische straling en straling afkomstig van radioactieve stoffen in de omgeving. Het is ook mogelijk om met behulp van een gloeikathode

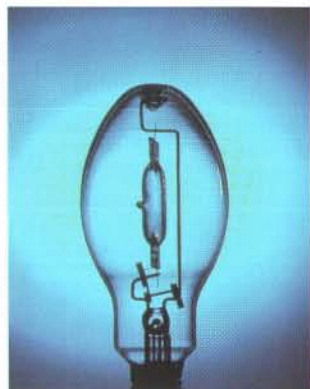


4. In een TL-buis komen elektronen vrij uit de gloei-kathode. Als deze botsen met een kwikatoom kan dit worden aangeslagen. Als in het atoom het aangesla-

gen elektron terugvalt naar een lager energieniveau komt UV-straling vrij, die het fluorescente poeder treft, waarna de lamp zichtbaar licht uitzendt.

5. Tijdens het starten van een gasontladingsbuis ziet men allereerst een gebied rond de kathode gaan

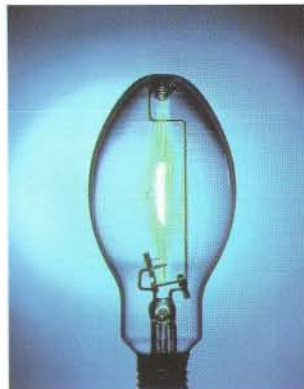
branden, het negatieve glimlicht. Vervolgens verspreidt het licht zich verder over de lamp.



5a



5b



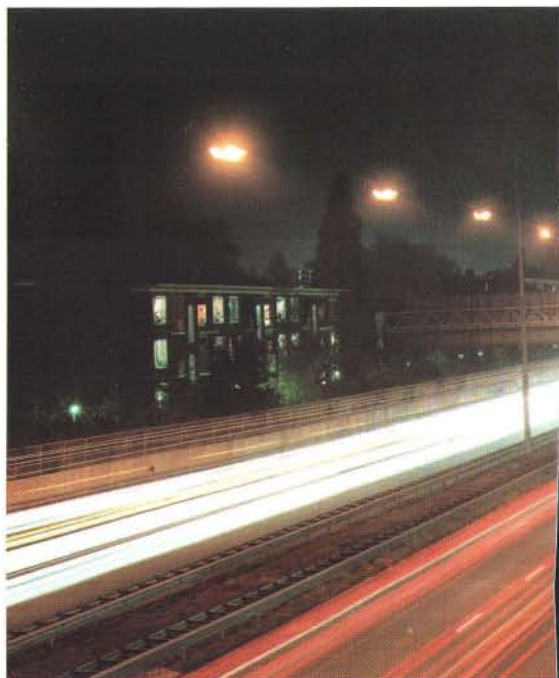
5c

tijdelijk elektronen in de buis te injecteren. Dat gebeurt bijvoorbeeld tijdens het starten van de TL-lamp. Bij het aanleggen van een spanning, waardoor de elektronen naar de anode en de positieve gasionen naar de kathode bewegen, treden botsingen op tussen deze deeltjes. Afhankelijk van de snelheid van de elektronen verlopen deze botsingen elastisch of inelastisch.

Bij lage snelheid botsen de elektronen uitsluitend elastisch tegen de neutrale gasatomen en verliezen daarbij nauwelijks energie maar veranderen van bewegingsrichting. Het elektrisch veld versnelt ze verder na elke botsing. Als de elektronen voldoende snelheid hebben verkregen, kunnen inelastische botsingen optreden.

Bij een inelastische botsing draagt het elektron energie over aan het gasatoom dat daardoor in een aangeslagen toestand kan geraken. Na korte tijd valt het elektron terug naar de grondtoestand en zendt een foton (licht) uit.

Door een inelastische botsing kan bovendien het buitenste elektron uit een gasatoom wor-



6



den losgeslagen, waardoor een gasion en een vrij elektron ontstaan. Dit proces, stootionisatie, is essentieel voor het in stand houden van de gasontlading. Zowel voor het aanslaan als voor een stootionisatie moet het elektron over een bepaalde hoeveelheid energie beschikken.

### Geleiding in vloeistoffen

Met uitzondering van vloeibare metalen (kwik) en gesmolten zouten zijn zuivere vloeistoffen slechte geleiders. Dat blijkt bijvoorbeeld bij vergelijking van de soortelijke geleiding van metalen ( $10^7$  tot  $10^8 \text{ S.m}^{-1}$ ) met die van zuiver water ( $10^{-4} \text{ S.m}^{-1}$ ). De geleidbaarheid van water valt te verklaren uit de dissociatiereactie van watermolekulen.

De binding tussen zuurstof en waterstof in een watermolekuul is vrij sterk. Voor de dissociatiereactie van water,  $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^-$ , is zelfs 5 eV nodig. Daarom is het onwaarschijnlijk dat deze reactie in waterdamp optreedt ten gevolge van de thermische beweging van de molekulen.

De watermolekulen zijn echter ook sterk polaire molekulen. Daardoor is de energie om

een molekuul water in de vloeistoffase te laten dissociëren veel kleiner en ligt in de orde van 0,5 eV. In zuiver water reageren als gevolg hiervan ongeveer twee op de miljard molekulen tot  $\text{H}_3\text{O}^+$ - en  $\text{OH}^-$ -ionen waardoor zuiver water enigszins kan geleiden.

Door toevoeging van zouten, zuren of basen neemt de soortelijke geleiding in waterig milieu sterk toe. Zo bedraagt de soortelijke geleiding van een 1 normaal-oplossing van kaliumchloride ( $74,6 \text{ g.l}^{-1}$ ) ongeveer  $10 \text{ S.m}^{-1}$ . Bij het oplossen van kaliumchloride komen extra ionen in de oplossing die de geleidbaarheid doen toenemen. Zo'n oplossing die door de aanwezigheid van ionen kan geleiden, noemen we een elektrolyt. De geleidbaarheid van water is dus te gebruiken bij het controleren van de zuiverheid ervan.

Toch blijft de soortelijke geleiding van water laag in vergelijking tot die van metalen. Dit is het gevolg van de te lage concentratie aan vrije ladingdragers. Zo ligt de ionenconcentratie in de orde van  $10^{26}$  per kubieke meter terwijl het aantal vrije elektronen in een metaal in de orde ligt van  $10^{29}$  per kubieke meter. Ionen bewegen zich in een vloeistof in een volledig



7

6. Lijnverlichting langs de snelweg bij Dordrecht. Dankzij elektrische geleiding beschikken wij 's avonds over een goed uitzicht op de weg.

7. Voor elektroforese, waarbij geladen molekulen op grootte worden gescheiden, is de geleiding van stroom door vloeistof essentieel.



ongeordende omgeving waardoor zeer veel botsingen optreden en de driftsnelheid, de verplaatsing van de ionen per tijdseenheid, laag blijft. In een metaal bewegen elektronen zich daarentegen in het metaalrooster en dus in een geordende omgeving. Ionen hebben in vergelijking met vrije elektronen een zeer grote massa en winnen dus niet zoveel snelheid in vergelijking tot elektronen die dezelfde afstand doorlopen in een elektrisch veld.

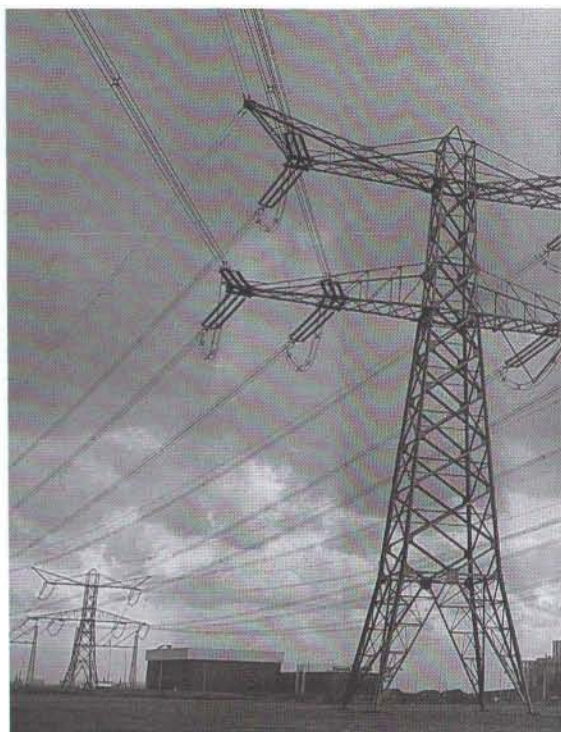
### Klassieke geleiding

Metalen vertonen een zeer goede soortelijke geleiding ( $10^7$  tot  $10^8 \text{ S.m}^{-1}$ ). In de klassieke theorie wordt dit toegeschreven aan de grote aantallen vrije elektronen (valentie-elektronen) die in het rooster van een metaal voorkomen. Uit kristallografisch onderzoek blijkt dat in een metaal de ionen regelmatig zijn gestapeld in een metaalrooster. Tussen de ionen bewegen de vrije elektronen in een zich periodiek herhalende elektrische potentiaalverdeling.

In de klassieke geleidingstheorie wordt deze periodieke potentiaalverdeling verwaarloosd en veronderstelt men dat de bindingselektronen in een gebied met een constante (positieve) elektrische potentiaal bewegen. Deze potentiaal 'houdt' de elektronen binnen het metaal. Om elektronen uit het metaal vrij te maken moeten ze over een minimale energie, de zogenaamde uittree-energie, beschikken. De benodigde energie komt beschikbaar bij verhitting van het metaal (thermische emissie), door bestraling van het metaal met licht met een geschikte golflengte (foto-emissie) of door het beschieten van het metaal met snelle elektronen (secundaire emissie). Ook het aanleggen van een zeer hoge elektrische veldsterkte kan tot emissie van elektronen leiden (veldemissie).

In de klassieke theorie gaat men uit van een elektronenwolk die tegen een achtergrond van positieve roosterionen beweegt. Elk atoom geeft daarbij gemiddeld één elektron af. Dat betekent dat bij metalen zo'n  $10^{28}$  tot  $10^{29}$  elektronen per kubieke meter aan de elektrische geleiding kunnen deelnemen. Dit verklaart de hoge geleidbaarheid van de metalen.

Ook andere eigenschappen van metalen zijn redelijk in overeenstemming met het 'vrije-elektronen'-model te verklaren. In hoofdlijnen is de klassieke theorie dan ook goed bruikbaar. Toch kan de klassieke geleidingstheorie



8

niet alle eigenschappen van metalen verklaren. Zo blijkt uit het Hall-effect dat in sommige metalen, bijvoorbeeld in zink, elektriciteitsgeleiding door positieve ladingdragers gebeurt.

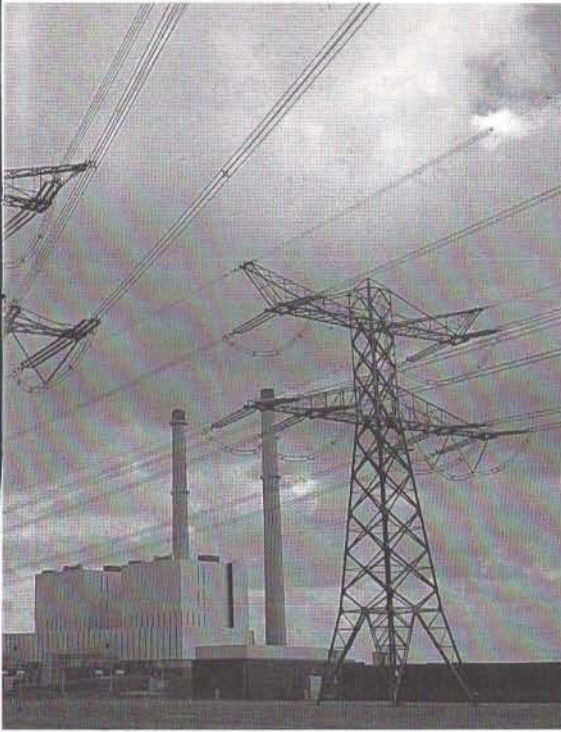
### Quantummechanische geleiding

In de klassieke mechanica worden elektronen opgevat als (puntvormige) deeltjes. De banen die ze doorlopen kunnen nauwkeurig worden berekend als de beginpositie, de beginsnelheid en de inwerkende kracht bekend zijn. In de quantummechanica daarentegen is het op grond van de onzekerheidsrelatie van Heisenberg niet mogelijk om tegelijkertijd nauwkeurig de positie en de snelheid (impuls) van een deeltje te kennen.

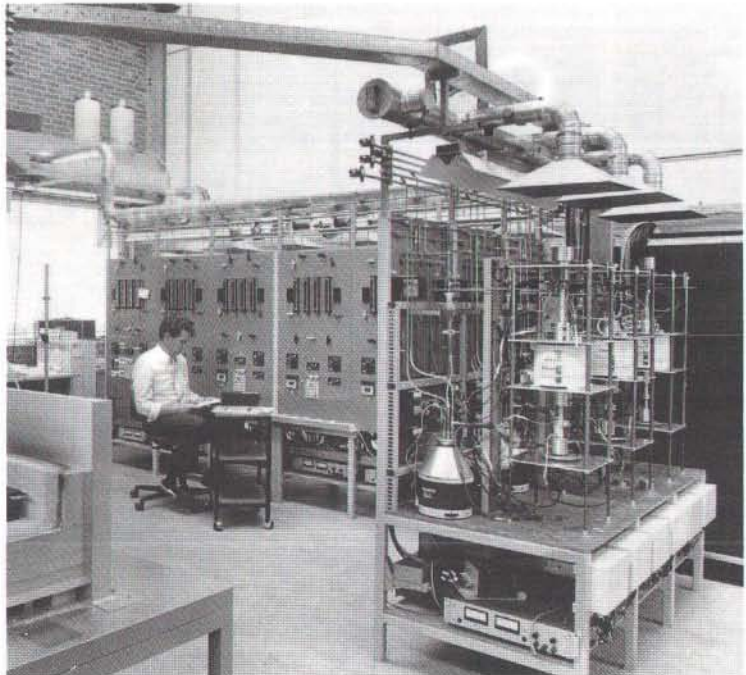
De beweging van een deeltje wordt beschreven met behulp van een golf functie  $\psi(x, y, z, t)$ . Deze golf functie is de oplossing van de differentiaalvergelijking van Schrödinger:

$$\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi + (U - eV) \psi = 0$$





8 en 9. Het grootste deel van de elektrische energie wordt verkregen door verbranding van fossiele brandstoffen. Een toekomstig alternatief is wellicht de brandstofcel, een galvanische energiebron waarin een elektrochemische reactie, bijvoorbeeld de reactie van waterstof en zuurstof tot water, de gevraagde energie levert. Thermodynamisch gezien is dit systeem voordeliger dan de omzetting van brandstof via warmte en mechanische energie in stroom. Vooral nog sleutelt men aan de levensduur, het gewicht en de prijs van de brandstofcel.

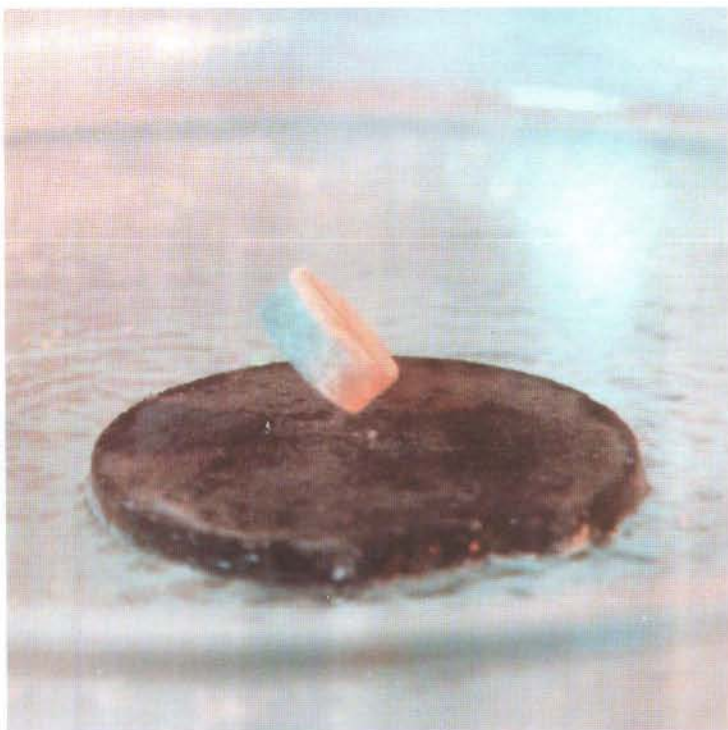


9

Hierin is  $U$  de totale energie van het elektron,  $eV$  de potentiële energie van het elektron,  $h$  de constante van Planck.  $|\psi|^2 dV$  stelt de waarschijnlijkheid voor om het elektron in het volume-element  $dV$  aan te treffen. Bij het oplossen van de Schrödingervergelijking moet rekening worden gehouden met de 'randvoorwaarden'; zo moet bijvoorbeeld  $|\psi|^2$  nul zijn buiten het metaal.

De randvoorwaarden zorgen ervoor dat het elektron niet elke willekeurige energie kan bezitten doch slechts welbepaalde hoeveelheden energie, de zogenaamde eigenwaarden. De corresponderende golf functies noemt men de eigentoestanden.

Eigenwaarden en eigentoestanden hangen uitsluitend af van de randvoorwaarden en de potentiaalverdeling in het metaal, die door de atomaire structuur van het metaal wordt bepaald. Verder moet men het uitsluitingsbeginsel van Pauli in acht nemen: geen twee elektronen kunnen in dezelfde eigentoestand voorkomen. In de quantummechanische benadering is het, evenals in de klassieke benadering, onmogelijk elk elektron afzonderlijk te bekijken en beschouwt men derhalve de zeer grote aan-



10

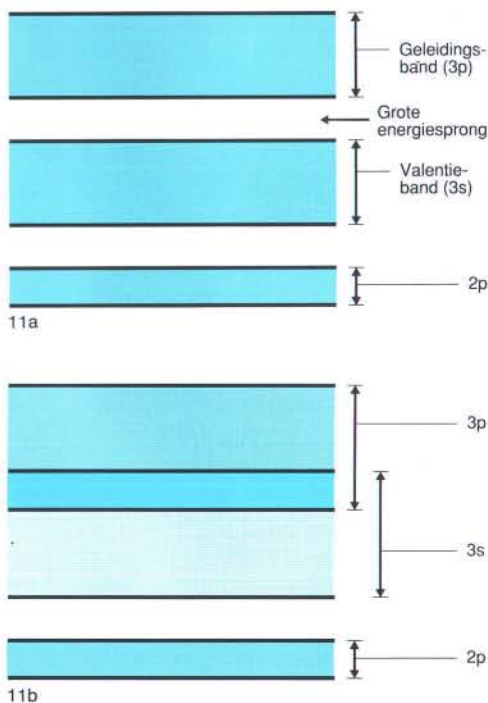
10. Binnen een massieve supergeleider is het magneetveld altijd nul. Langs het oppervlak van de supergeleider lopen de stromen die een magnetisch veld opwekken dat tegengesteld is aan het uitwendig veld. Het magnetisch veld van een vallend magneetje induceert een tegengesteld magnetisch veld dat de nadering van het magneetje tegengaat.

11. Bij een isolator is het energieverschil tussen de valentieband en de geleidingsband moeilijk overbrugbaar (11a). Bij halfgeleiders is dit verschil zo klein, dat verhoging van de omgevingstemperatuur een isolator kan veranderen in een geleider. Een metaal geleidt stroom doordat de geleidingsband en valentieband elkaar raken of overlappen (11b).

tallen elektronen in een metaal. Slechts het gemiddelde gedrag van de gezamenlijke elektronen is van belang. Daartoe berekent men, met behulp van de 'quantumstatistiek', de verdeling van de elektronen over alle mogelijke eigentoestanden die in het metaal kunnen voorkomen. Als bovendien ook de periodieke roosterpotential in de quantummechanische berekeningen wordt ingebracht, levert dit een verdeling van mogelijke energietoestanden op (afb. 11).

Er komen nu 'toegelaten' en 'verboden' energiegebieden voor. De verboden energiegebieden (energy gaps) zijn gebieden waarvoor er geen oplossingen bestaan van de Schrödinger-vergelijking. De toegelaten energiegebieden noemt men energiebanden. De hoogste volledige gevulde energieband heet de valentieband; de daarboven gelegen band is de geleidingsband. De verschillende mogelijke verdelingen van elektronen over deze banden maken een onderscheid tussen drie situaties mogelijk.

In het eerste geval zijn er zoveel (valentie-) elektronen aanwezig dat alle energieniveaus in





de valentieband gevuld zijn en de geleidingsband volledig leeg is. Zo'n stof is een isolator. Dat is bijvoorbeeld het geval met koolstof in diamantvorm. Aanleggen van een elektrisch veld levert in dit geval geen elektrische stroom op. De elektronen kunnen immers geen energie uit het elektrische veld opnemen omdat er geen beschikbare onbezette energietoestanden in de valentieband aanwezig zijn.

In de tweede situatie, die optreedt bij metalen, is de valentieband slechts gedeeltelijk met elektronen bezet. Er is nu wel geleiding mogelijk, want elektronen die de hoogste energieniveaus bezetten hebben nog onbezette energieniveaus boven zich en kunnen dus uit het elektrisch veld energie opnemen. De elektronen kunnen dus worden versneld en door het metaal bewegen.

Een heel bijzonder geval doet zich voor als een stof een volle valentieband heeft en een lege geleidingsband die slechts op kleine energieafstand ligt. Deze situatie doet zich bijvoorbeeld voor bij silicium, waar de afstand tussen de valentieband en de geleidingsband 1,1 eV bedraagt. Bij temperaturen in de buurt van het absolute nulpunt is silicium dan ook een isola-

tor. Bij kamertemperatuur kunnen elektronen, door de thermische beweging van het rooster, van de valentieband naar de geleidingsband overspringen. De thermische energie (1,5 kT) is immers van dezelfde grootte-orde. Silicium is daarom bij kamertemperatuur enigszins geleidend. De soortelijke geleiding neemt toe met de temperatuur. Stoffen met een dergelijke eigenschap staan bekend onder de naam 'halfgeleiders'. Ze worden op grote schaal gebruikt in de moderne elektronica (chips).

### Halfgeleiders

Bij het absolute nulpunt zijn de atomen van de halfgeleider silicium covalent gebonden. Elk atoom is steeds verbonden met vier buuratoemen. Als de temperatuur stijgt nemen de roostertrillingen van de atomen toe. Uit deze beweging kunnen steeds meer valentie-elektronen zoveel energie opnemen dat ze de sprong over het verboden energiegebied naar de geleidingsband kunnen nemen. Zo'n elektron kan nu in de geleidingsband door het kristal bewegen en is een vrij elektron geworden. De binding waarin een elektron ontbreekt noemen we een gat.

## Hoe snel?

INTERMEZZO I

Algemeen wordt gedacht dat elektronen met grote snelheid door een elektriciteitsdraad stromen. Deze gedachte wordt waarschijnlijk versterkt doordat bijvoorbeeld een gloeilamp direct na het inschakelen licht uitzendt. Met een kleine berekening kan de snelheid waarmee elektronen in een draad stromen worden gevonden. Hieronder is stukje van de draad getekend.  $v$  Stelt de 'driftsnelheid' van de elektronen voor. Als er  $N$  vrije elektronen per  $m^2$  in het metaal aanwezig zijn, stroomt er in het tijdsinterval  $\Delta t$  door de doorsnede  $A$  een lading gelijk aan:

$$Q = e(v\Delta t)AN.$$

De stroomsterkte of doorgestroomde lading per seconde bedraagt dan:  $I = vAN$ . Bij het inschakelen van bijvoorbeeld een strijkijzer loopt er zo'n 5 A door een draaddoorsnede van 2,5 mm<sup>2</sup>. Koper beschikt over zo'n  $10^{29}$  vrije elektronen per kubieke meter. Als we van deze gegevens gebruik maken, vinden we een driftsnelheid van ongeveer 0,1 mm per seconde. Gemiddeld verplaatsen de vrije elektronen zich dus tergend langzaam door een geleidende draad.



I-1

I-1. Lampen worden getest op hun brandduur. Zodra het lichtknopje wordt ingedrukt, brandt de lamp.

Elektronen lijken zich met een grote snelheid te verplaatsen. De driftsnelheid is slechts 0,1 mm.sec<sup>-1</sup>.

Het ontstaan van gaten en vrije elektronen heet generatie.

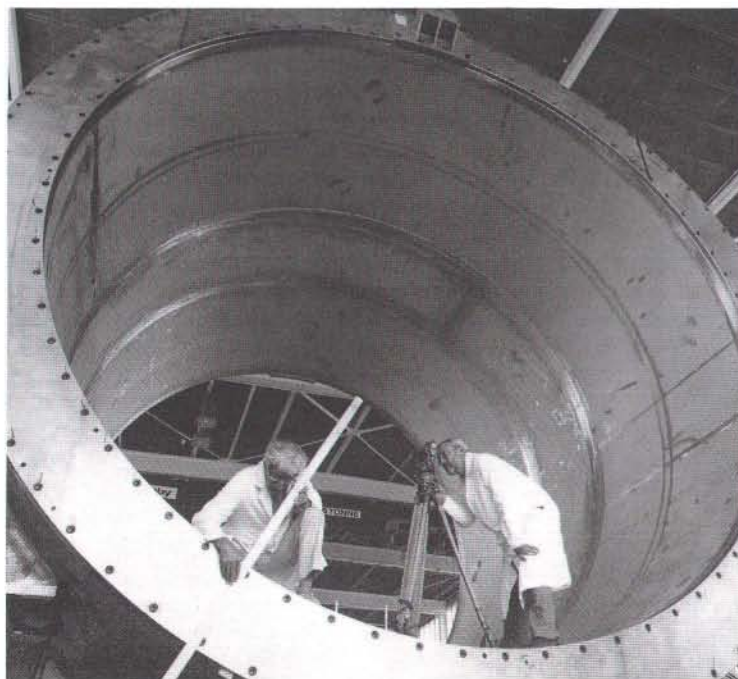
In zuiver silicium zijn altijd evenveel gaten als vrije elektronen aanwezig. Gaten kunnen vanuit naburige bindingen worden opgevuld door het verspringen van een elektron. Het gat verplaatst zich daardoor naar een andere binding; gaten bewegen zich daardoor door een kristalrooster. Het komt voor dat een gat zich vult met een vrij elektron dat in het kristal rondzwerft (recombinatie). Energetisch bekeken maakt een elektron dan een terugval van de geleidingsband naar de valentieband. Het verschil in energie wordt uitgestraald als een foton of aan het rooster afgegeven. Het aantal generaties en het aantal recombinaties zijn bij een bepaalde temperatuur met elkaar in evenwicht. Als de temperatuur verder stijgt zullen aanvankelijk door generatie steeds meer vrije elektronen en gaten worden gevormd. Hierdoor stijgt ook het aantal recombinaties zodat er uiteindelijk een nieuw evenwicht ontstaat.

Bij het aanleggen van een elektrisch veld gaan de vrije elektronen bewegen door het kristal in de richting van de positieve pool en verlaten aan de 'metallische aansluiting' daar

het kristal. De gaten daarentegen bewegen in de richting van de negatieve pool en recombineren met vrije elektronen uit de metallische aansluiting van de negatieve pool. Omdat door thermische generatie steeds opnieuw gaten en vrije elektronen in het kristal ontstaan, loopt er een elektrische stroom door het kristal. De geleiding vindt daarbij zowel door elektronen als door gaten plaats. De gaten gedragen zich daarbij als positieve-ladingsdragers. Dit noemen we het gatenformalisme.

### Supergeleiding

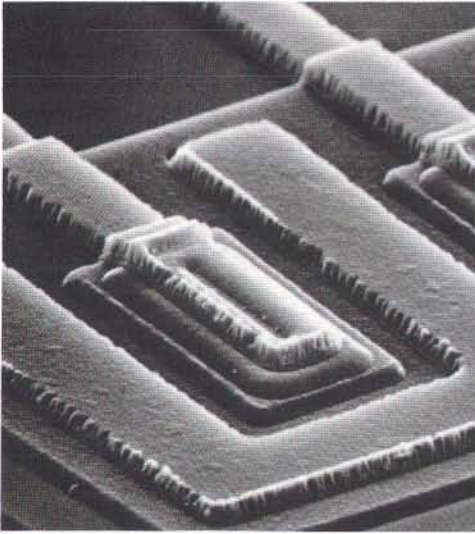
Het verschijnsel van supergeleiding is voor het eerst waargenomen in 1911 door de Nederlandse natuurkundige Kamerlingh Onnes in een tot  $-269^{\circ}\text{C}$  (4 K) afgekoelde kwikdraad. Daarna is het verschijnsel bij zeer lage temperatuur (tot ongeveer 20 K) bij diverse andere metalen en metaallegeringen waargenomen. Toen Müller en Bednorz in 1986 bekendmaakten dat zij supergeleiding hadden gevonden bij veel hogere temperaturen (40 K) in bepaalde keramische materialen, veroorzaakte dit grote opschudding in de wereld van de fysici. Ande-



12. Een spoel van zes meter hoog herbergt een complex koelsysteem dat de spoel afkoelt tot nabij het absolute nulpunt. Dankzij de supergeleidende eigenschappen van de gekoelde spoel kost instandhouding van het magnetisch veld slechts een fractie van de energie nodig om het magnetisch veld op conventionele wijze op te wekken.

13 en 14. In de snelste siliciumtransistor ter wereld zorgt het hoger gelegen aluminium voor de geleiding van signalen naar en van de transistor (13). De moderne computertechnologie is gebaseerd op de eigenschappen van halfgeleiders, met name silicium. Door generatie van vrije elektronen en gaten kan het materiaal signalen geleiden (14).



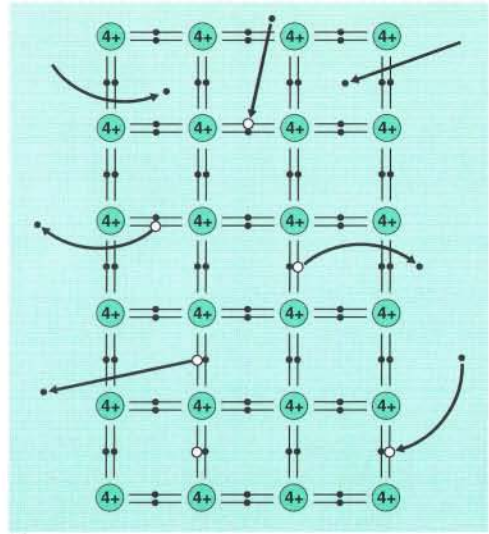


13

re onderzoekers, waaronder Paul Chu en J. Chen zorgden voor nog meer verrassingen: supergeleiding bij de temperatuur van vloeibare stikstof (77 K) en nog hogere temperaturen, thans tot 265 K of  $-8^{\circ}\text{C}$ .

Supergeleiding is het verschijnsel dat sommige materialen abrupt elke elektrische weerstand verliezen als ze afkoelen tot beneden een bepaalde temperatuur. Ze komen daarbij in een toestand waarin hun thermische, elektrische en magnetische eigenschappen volkomen afwijken van de eigenschappen die ze onder normale omstandigheden vertonen. Pas in 1957 slaagden Bardeen, Cooper en Schrieffer erin supergeleiding in metalen te verklaren met de zogenaamde BCS-theorie. De kern van deze theorie is dat onder bepaalde omstandigheden in de 'zee' van geleidingselectronen een zekere mate van ordening kan optreden. Hierbij vormen een (betrekkelijk klein) aantal elektronen twee aan twee zogenaamde Cooper-paren. Omdat bij deze parenvorming het metaalrooster is betrokken, kan niet elk metaal (of metaallegering) supergeleidend worden. De elektrische geleiding in een supergeleider vindt plaats door het verplaatsen van Cooper-paren. De temperatuur verstoort de Cooper-paren zodat geen supergeleiding bij hogere temperaturen optreedt.

De BCS-theorie is niet in staat om de supergeleiding in diverse keramische materialen te



14

verklaren. Op dit moment weet eigenlijk geen mens hoe supergeleiding in keramische materialen – die isolator horen te zijn – kan optreden. De natuurkunde blijft voor verrassingen zorgen!

#### Literatuur

- Masschelein JCJ. Vaste stof in de natuurkunde. *Natuur & Techniek* 1985; 53, 9: 656-671.  
 Bantum J. van. Supergeleiding – Nulpunttechnologie. *Natuur & Techniek* 1985; 53: 11, 856-871.  
 Griessen R. Supergeleiding – Een hot issue. *Natuur & Techniek* 1987; 55, 9: 710-721.  
 Boelhouwer W. De elektrische oertijd. *Natuur & Techniek* 1990; 58, 7: 552-563.

#### Bronvermelding illustraties

- Stichting Flanders Technology International, Brussel: pag. 612-613 (achtergrond).  
 Philips Persdienst, Eindhoven: pag. 612-613 (voorgond), 2, 3, 5, 6.  
 Integrated Genetics: 7.  
 KEMA, Arnhem: 8, 1-1.  
 ECN, Petten: 9.  
 AKZO, Arnhem: 10.  
 Britse Ambassade, Den Haag: 12.  
 IBM, Amsterdam: 13.

# OPGEGRAVEN EET GEWOONTEN

Het onderzoeken van oude nederzettingen verschaft ons een grote hoeveelheid informatie over de wijze waarop de bewoners van de lage landen vroeger leefden. Archeologisch onderzoek in de Romeinse vestiging in Velsen laat zien wat voor vistuig men in vroeger tijden gebruikte. Dankzij onderzoek waarbij men botfragmenten onderzoekt van destijds gevangen vissen, weten we nu meer over vissoorten die bij de Romeinse bezetters op het menu stonden. Vergelijking van gegevens met recentere bronnen geeft ons bovendien inzicht in de gewijzigde leefgebieden van vissoorten.

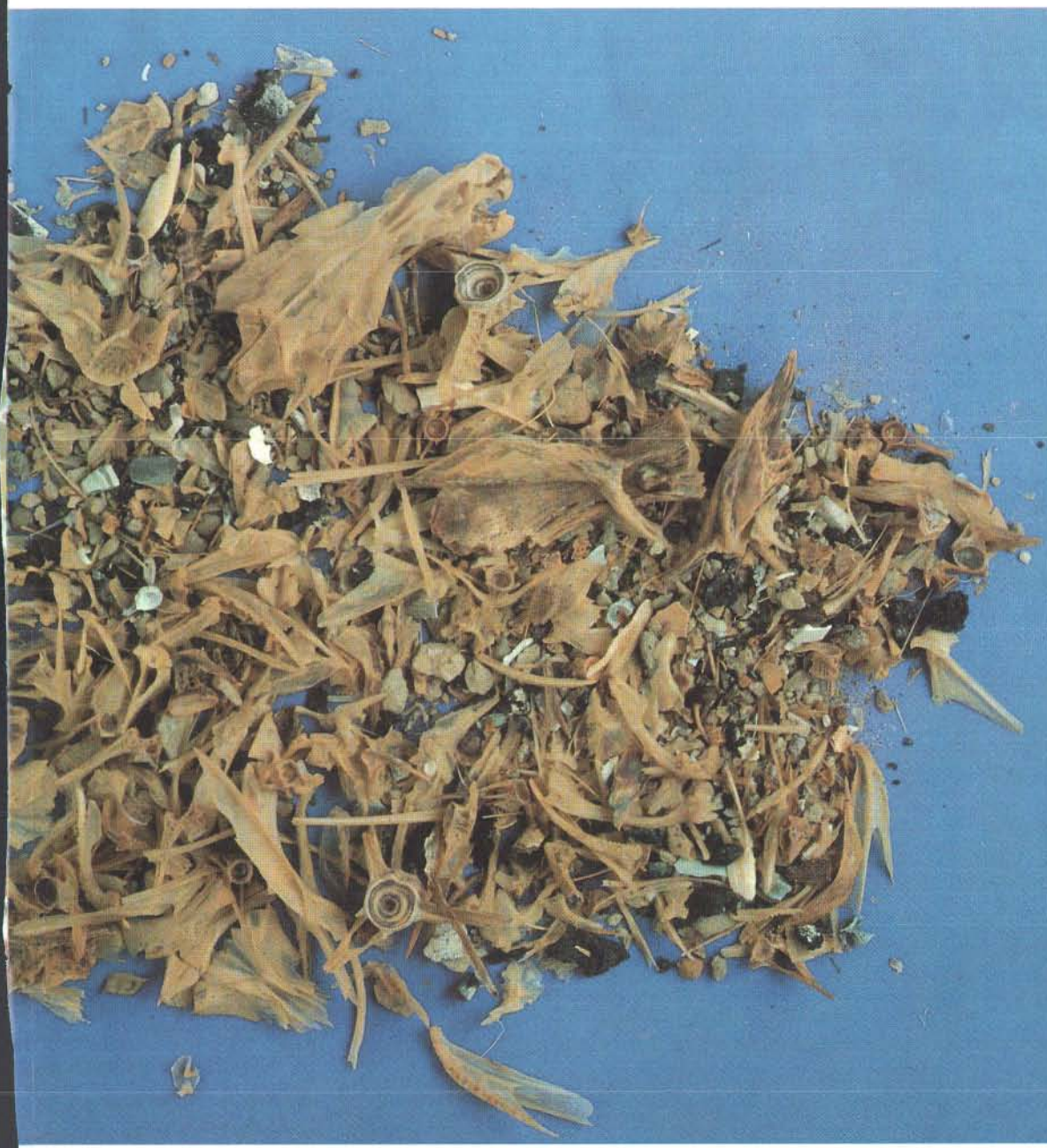
De visresten die archeologen vinden zijn bijvoorbeeld kieuwdeksels, onder- en bovenkaken, tongbenen, schedels, wervels, ribben, vinstralen, schubben, enzovoort. De ichthyo-archeoloog probeert een dubbele puzzel op te lossen: uit welk deel van welke vissoort is een visrest afkomstig.



## VISRESTEN



**D.C. Brinkhuizen**  
*Biologisch-Archaeologisch Instituut,  
Groningen*



**VERHALEN HET VERLEDEN**



Bij opgravingen in natte bodems komt men vaak grote aantallen dierlijke resten tegen. Botten, die met het blote oog zijn verzameld, blijken voor het merendeel afkomstig te zijn van grote en middelgrote zoogdieren, zoals rund, schaap, oeros, ree, hond, kat, enzovoort. Slechts een klein deel van het botmateriaal is afkomstig van kleine zoogdieren, vogels, amfibieën en vissen.

Archeologen hebben in Nederland grote hoeveelheden materiaal verzameld uit oude nederzettingen. Het onderzoek aan visresten uit verschillende archeologische vindplaatsen laat zien welke vissen vroeger in Nederland voorkwamen en tevens werden gevangen. De informatie uit dit onderzoek verschaft ons inzicht in vroegere vismethoden en leert ons meer over de mensen die eerder in ons land leefden. Als voldoende gegevens over het verspreidingsgebied van vissoorten in vroegere tijden bekend zijn, kunnen visresten ook worden gebruikt bij het dateren van een vondst.

Bij het nat zeven van de opgegraven aarde over zeven met maaswijdtes van bijvoorbeeld vijf, drie en één millimeter, resteert in het zeefresidu niet alleen aardewerk- en glasscherfjes, munten, kraaltjes, en ander klein archeologisch materiaal. Het zeefresidu bevat ook grote aantallen botjes en botfragmentjes van grote en kleine zoogdieren, vogels, amfibieën en vissen. De visresten bevatten een schat aan informatie over de viswereld in het verleden en de wijze waarop de mens daar gebruik van maakte.

Niet bij iedere opgraving vinden archeologen dierlijke resten, want de omstandigheden zijn niet altijd gunstig voor conservering van been. In onze zandgronden blijven weinig of geen beenderen bewaard. Daarentegen is het botmateriaal uit nederzettingen in het Hollandse en Zeeuwse kustgebied, het Noordnederlandse terpengebied en het Middennederlandse rivierengebied meestal goed geconserveerd. Over de voormalige dierenwereld van de kustgebieden en het rivierengebied weet men dan ook meer dan van die uit de rest van Nederland. Omdat in België tot voor kort slechts incidenteel kleine fossiele botresten werden onderzocht, zijn er tot nog toe weinig gegevens beschikbaar over de Belgische subfossiele visfauna.

Uit het Holoceen van Nederland kennen de ichthyo-archeologen – ichthys betekent vis –



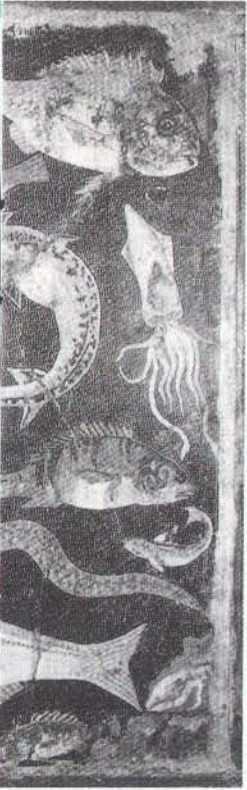
1

tot dusver geen oudere visresten dan die welke dateren uit het Neolithicum, de jongste periode van de steentijd. Deze resten heeft men bijvoorbeeld gevonden bij het dorp Kolhorn in Noord-Holland.

### De Romeinen

Rond het begin van de jaartelling bouwden de Romeinen aan de rand van hun invloedssfeer militaire steunpunten van waaruit zij veldtochten naar noordelijk gelegen gebieden ondernamen. Resten van twee daarvan zijn gevonden bij het huidige dorp Velsen in Noord-Holland. Het steunpunt waarvan archeologisch het meest bekend is, staat in de literatuur vermeld onder de naam Velsen 1. Het dateert uit de periode 15 tot 30 na Chr. en is aangelegd op de oever van een groot zoetwatermeer, het Oer-IJ. In eerste instantie was het een driehoekig kamp met rondom een houten wal en daarbuiten aan de landzijde een gracht. In het Oer-IJ,





1. Een mozaïek uit Pompeï laat zien dat Romeinse kunstenaars diverse gevangen waterdieren nauwkeurig bestudeerden. In dit mozaïek kan men onder meer een moeraal, een pijlinktvis, een grote zeebaars en, tweede van boven in de linkerhoek, een harderachtige herkennen.

de havenzijde, staken een drietal pieren waaraan schepen tot 30 meter lengte konden afmeren (afb. 2).

Tijdens de opgravingen op deze vindplaats kwamen grotere aantallen visresten tevoorschijn. Het met behulp van een 5 mm-zeef verkregen materiaal bevat niet alleen resten van veel vissoorten uit het zoete water en trekkende soorten, maar ook resten van zogenaamde mariene – in zee levende – soorten. Daardoor weten we vrij goed welke vissoorten toentertijd in het kustgebied voorkwamen. Door

het relatief grote aantal resten van sommige soorten zijn conclusies over visvangst en visconsumptie goed onderbouwd. Het lijkt er op, dat de zeevisserij eerst in de Romeinse tijd goed op gang kwam.

## De vissoorten van Velsen 1

Het grootste deel van de visresten van Velsen 1 is afkomstig uit de voormalige havenbedding. Een klein aantal resten bevond zich in twee waterputten. Dit zijn, gezien het sterk overheersen van resten van het romp- en staartskelet (graten), waarschijnlijk maaltijdresten. Daarentegen bestaat ruim de helft van de vondsten uit het havenbekken uit restanten van het kopskelet en kan daarom afkomstig zijn van zowel de slacht als de maaltijd.

Het materiaal uit de haven leverde de meeste vissoorten op, waaronder tenminste tien soorten zoetwatervis, vier anadrome soorten – dat zijn trekkende soorten die in zee leven, maar zich in het zoete water voortplanten – en negentien soorten zeevissen (Tabel 1).

Van het totaal aantal gedetermineerde resten uit het voormalige havenbekken is driekwart afkomstig van zoetwatervis en de rest van zeevis. Op grond van deze verhouding moeten we concluderen dat de bewoners van Velsen 1 meer zoetwatervis dan zeevis consummeerden. Van de zoetwatervissen waren karperachtigen en baars de belangrijkste consumptievissen. Snoek en paling volgden. Meerval werd incidenteel gegeten. Van de zeevissen stonden soorten die gedetermineerd werden als schol/bot/schar, soorten die behoren tot de harderachtigen en kabeljauw het meest op het menu. De overige mariene soorten werden incidenteel gegeten. De consumptie van anadrome soorten speelde geen grote rol.

Tijdens het onderzoek bepaalde men de totale lengte van een groot aantal vissen van de

Tabel 1 Havenbekken Velsen 1: aantal fragmenten en percentage per soort, geslacht of familie

Zoetwatervissen	Aant.	Pct.	Anadrome vissen	Aant.	Pct.	Zeevissen	Aant.	Pct.
Paling	80	3.1	Steur	3	0.1	Kraakbeenvissen	7	0.3
Karperachtigen	628	24.5	Fint	4	0.2	Kabeljauw	52	2.0
Meerval	167	6.5	Fint of elft	1	0.0	Rode poon	10	0.4
Snoek	409	15.9	Zalm en/of zeeforel	5	0.2	Harderachtigen	182	7.1
Pos	19	0.7	Houtingachtige	3	0.1	Bot, schol, schar	332	12.9
Baars	647	25.2				Diversen	18	0.7
Aantal resten	1950	75.9	Aantal resten	16	0.6	Aantal resten	601	23.4
Aantal gedetermineerde resten:			2567	100.0 %	Aantal niet-determineerbare resten:			348
Aantal gedetermineerde schubben:			88		Totaal aantal resten:			3003



2

2. Een tekening van Velsen I, waarbij duidelijk de drie pieren van de kleine haven zichtbaar zijn. Archeologen hebben hier visresten van maaltijden en slachtafval gevonden.



3

3. De resten van een fuik uit het havenfort te Velsen, gebruikt tussen 16 en 28 na Christus.

verschillende soorten zoetwatervis uit Velsen 1 door berekening of schatting. De uitkomsten hiervan zijn vergeleken met de maximale lengte. Het gemiddelde formaat van de geconsumeerde palingen was 76 cm. Die van snoek bedroeg 67 cm en die van baars 32 cm. De resten van karperachtigen vertegenwoordigen kleine,

middelgrote en grote individuen. Het kleinste individu van meerval mat 80 cm en het grootste individu was 180 cm lang.

De lengte van de belangrijkste soorten zeevis uit Velsen 1 werden op overeenkomstige wijze berekend of geschat. De resten van kabeljauw waren afkomstig van circa een meter lange vis-



4

4 en 5. De meerval is een schubloze vis die in Nederland niet meer zoveel voorkomt. Alhoewel men dacht dat de meervallen in de Haarlemmermeer afkomstig zijn van exemplaren die enige eeuwen geleden daar waren uitgezet,

blijkt uit vondsten dat de meerval al sinds het Neolithicum in ons land voorkomt en wordt gevangen. Deze resten uit Velsen 1 zijn afkomstig van een exemplaar van circa 1,80 m lang en 35 tot 40 kg zwaar.



5





6

6. Deze grote vishaak uit het Romeinse fort bij Vechten is waarschijnlijk gebruikt voor het vangen van snoek en meerval.

7. Een lid van de Archeologische Werkgemeenschap voor Nederland is bezig met het uitgraven van een Romeinse waterput.



7

sen. Enige diklipharders waren 75 cm lang. Dit is gelijk aan de maximale lengte die de diklipharder tegenwoordig bereikt. Van de groep schol/bot/schar lag de gemiddelde lengte rond 30 cm. Binnen deze groep varieerde de lengte sterk van vis tot vis, van twaalf tot zestig centimeter. Uit berekeningen bleek dat de vissen van andere mariene soorten middelgrote tot grote exemplaren waren.

Uit de berekeningen volgt, dat het merendeel van de gevonden visrestanten bestaat uit de resten van middelgrote en grote vissen. Al lijkt het erop dat men rond de jaartelling al gericht op grotere vissen viste, toch is dit niet waarschijnlijk. Meer voor de hand ligt dat de bewoners van Velsen 1 niet zelf visten, maar uit de vangst van een beroepsvisser de grotere exemplaren uitzochten.

### De wijze van bevissing

De wijze waarop een vissoort wordt gevangen hangt af van het voedsel en de wijze waarop de vissoort dit tot zich neemt alsmede de plaats waar de soort zich bevindt. Kijken wij naar de diverse soorten zeevis uit Velsen 1, dan blijken dit bodembewonende soorten te zijn die zich eenvoudig met behulp van lijnen met haken laten vangen. Resten van soorten die alleen goed met netten of fuiken kunnen worden gevangen, zoals haring en sprot, ontbreken evenwel. Het is daarom waarschijnlijk dat vis-

sers ten tijde van de bewoning van Velsen 1 op zee nog geen netten gebruikten, maar alleen met lijnen met haken visten.

De resten van kleine karperachtigen geven aan dat bij de zoetwatervisserij gebruik werd gemaakt van fuiken en/of fijnmazige netten. Archeologen hebben, bij opgravingen in Utrecht en in Valkenburg (Zuid-Holland), resten gevonden van teenhouten fuiken die zijn gebruikt voor de visvangst in zoetwater en die dateren uit de Romeinse tijd. Grote meerval, snoek en baars kunnen eveneens met fuiken en/of grofmazige netten zijn gevangen. Het is echter niet uitgesloten, dat vissers ook met behulp van lijnen en haken (zetlijnen) deze vissen op het droge trachtten te halen. Gezien de vindplaats is een 8 cm grote metalen vishaak met onderlijn, afkomstig uit het Romeinse fort bij Vechten, vermoedelijk voor de zoetwatervisserij gebruikt. De haak is echter dermate groot dat er slechts meerval en snoek mee kunnen zijn gevangen.

Om het seizoen te bepalen waarin bewoners van de lage landen in het verleden visten, staat de onderzoeker een drietal benaderingswijzen ter beschikking. Hij moet het materiaal allereerst onderzoeken op het de aanwezigheid van soorten die slechts in een bepaalde periode van het jaar voorkomen in het zoete water of langs de kust en alleen dan zijn te bemachtigen. Met andere woorden: er wordt gezocht naar resten van zomer- of wintergasten.

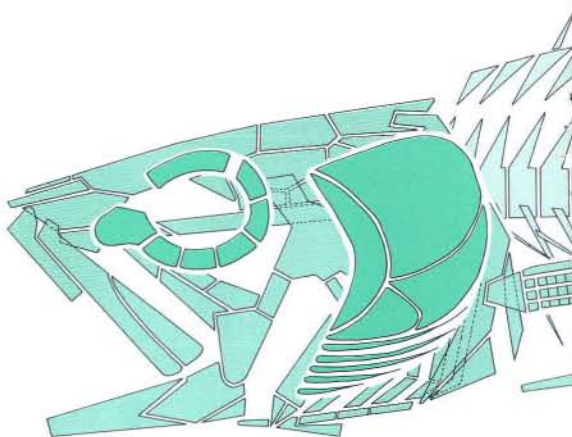
## Werkwijze bij het onderzoek van visresten

Met behulp van de verschillende skeletdelen van een 'standaard' beenvis (bijvoorbeeld van een baars) kan een onderzoeker van een opgegraven beenvisrest meestal betrekkelijk eenvoudig het type skeletdeel bepalen. Dit komt doordat de vorm van de skeletdelen van de ene soort in grote lijnen overeenkomt met die van de andere soort. Dit is het duidelijkst bij nauw verwante soorten. Wanneer resten van standaard beenvissen de tand des tijds goed doorstaan en bij de opgraving zorgvuldig worden verzameld, dan zijn zo'n zestig tot zeventig skeletdelen per soort te herkennen.

Een enkele keer bevat een verzameling opgegraven visresten ook resten van kraakbeenvissen, bijvoorbeeld tanden van haaien en stekels van roggen. Van het skelet van deze vissen blijft, op de verkalkte centra van de wervellichamen na, niets bewaard zodat er maar een kleine kans is op het vinden van de resten van kraakbeenvissen. Deze groep van vissen is dan ook ondervertegenwoordigd.

Er bestaan geen boeken voor het op vissoort determineren van skeletdelen. Daarom is een goede vergelijkingscollectie van recente visskeletten onmisbaar bij het onderzoek. De aanleg van een dergelijke collectie is een tijdrovende zaak. Zo moeten alle delen van de collectie goed schoon en los van elkaar zijn, en voorzien zijn van een nummer dat verwijst naar de soortnaam.

Toewijzing aan een bepaalde vissoort van een op skeletdeel gedetermineerde visrest gebeurt met de vergelijkingscollectie. Dit is goed mogelijk omdat de tegenwoordige vissoorten wat betreft botstructuur



I-1

I-1. Vissen bevatten een groot aantal botten en graten van uiteenlopende vorm en formaat. De ichthyo-archeoloog maakt bij

het op vissoort determineren van skeletdelen gebruik van een vergelijkingscollectie bestaande uit recente visskeletten.

Uit vergelijking van de grootte van een opgegraven skeletdeel met die van hedendaagse vissen met bekende leeftijden, kan de onderzoeker ook bepalen welke leeftijd de vis had op het moment van doodgaan. Aangezien bekend is in welk jaargetijde de soort zich voortplant, valt uit deze gegevens het jaargetijde waarin de vis gevangen werd af te leiden.

De derde methode is afgeleid van de onderzoeksmethode die visserijbiologen gebruiken voor het bepalen van de leeftijd van een vis. Visgroei is grotendeels afhankelijk van het weer in het leefgebied van de vis. In het bot van de vissen die voorkomen in een gematigd klimaat zijn de periodieke verschillen in groeisnelheid vastgelegd in de vorm van zogenaamde zomer- en winterringen. Het is van be-

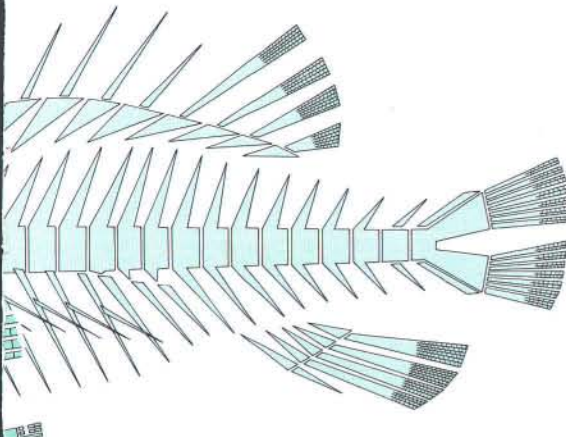
lang om van elk van de opgegraven visresten te bepalen of de jongste groeizone van het bot is gevormd in de zomer of in de winter. Dit zogenaamde jaarringonderzoek van subfossiele visresten is nogal complex en bevindt zich nog in een ontwikkelingsstadium.

Vele van de in Velsen 1 aangetroffen mariene soorten geven aanwijzingen over het vroegere visseizoen (Tabel 2). Duidelijk is dat de zeevisserij in elk geval gedurende het zomerhalfjaar plaatsvond. De vraag of er ook in het winterhalfjaar op zee werd gevisst, is mogelijk te beantwoorden aan de hand van jaarringonderzoek aan resten van de min of meer permanente in onze kustwateren aanwezige vissoorten als kabeljauw en de platvissen schol, bot en schar.



INTERMEZZO I

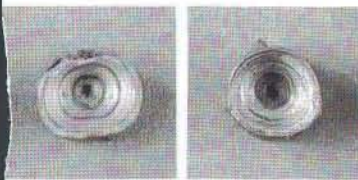
Geïmporteerde vis



niet aantoonbaar verschillen van hun holocene voorouders. Soms, als de toewijzing aan een soort niet mogelijk is, wordt het skeletdeel toegewezen aan een bepaald geslacht, familie of groep van vissen. Op deze wijze legt de onderzoeker van de gevonden visresten voor zover mogelijk de volgende gegevens vast: vissoort, skeletdeel, zijde (links of rechts), afmetingen, sexe en bijzonderheden als snijsporen en pathologieën.

Onder de verzamelde visresten uit opgravingen van oude nederzettingen kunnen zich resten bevinden van één of meer soorten vissen waarvan de ichthyo-archeoloog – op grond van biologische overwegingen – aanneemt dat zij niet in de directe of bredere omgeving van de nederzetting zijn gevangen. Zo zijn uit Romeins Nijmegen en uit het Romeinse castellum van Velsen skeletresten bekend van Midderrane vissoorten. De rest uit de Romeinse castrata Nijmegen betreft een wervel die vermoedelijk afkomstig is van een barracuda. In Velsen 1 vonden onderzoekers een wervel van Spaanse makreel. Deze twee vondsten duiden erop dat in de Romeinse tijd in Nederland invoer plaatsvond van vis of visproducten uit zuidelijke landen.

Uit Nijmegen en De Horden (Wijk bij Duurstede) zijn scherven bekend van Romeinse vissaus-amforen. Mogelijk waren deze amforen gevuld met visproducten uit het Middellandse Zeegebied. Het produkt kan bijvoorbeeld muria, in pekel geconserveerde vis, zijn geweest. Een andere mogelijkheid is allec, een produkt dat voor het grootste deel bestaat uit visbotten die na het afzijgen van de muria op de zeef of in de zak achterbleven. Het heldere filtraat, dat geen botten bevat en zeer zout is, staat bekend als garum. Garum en allec waren populaire smaakmakers in de Romeinse keuken. Allec diende bovendien als medicijn voor mens



8

8. Vooraanzicht van twee opgegraven wervels van snoek uit Velsen 1. Bij het linker exemplaar zijn duidelijk afwisselende brede lichte en smalle donkere ringen te zien. Men interpreteert deze als zomer- en winterringen.

Tabel 1 Periode waarin de vangst van de in Velsen 1 aangetroffen mariene soorten plaatsvond

	○	Winter			○	Voorjaar			○	Zomer			○	Najaar			○
	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
Ambervis																	
Pijlstaartrog																	
Hondshaai																	
Gladde aal																	
Rode poon																	
Zeebarbeel																	
Zeebaars																	
Horsmakreel																	
Harderachtigen																	
Kabeljauw																	
Schelvis																	
Wijting																	

en dier. Als herkomstgebied van deze producten komen de kusten van Spanje en Portugal in aanmerking. Uit onderzoek blijkt namelijk dat in de eerste helft van de eerste eeuw na Christus op grote schaal garum werd geproduceerd op de Cerro del Mar in de provincie Málaga in Spanje. Ichthyo-archeologisch onderzoek op deze Spaanse vindplaats toonde aan dat er talrijke resten van makreel en Spaanse makreel waren. Het nodige onderzoek aan visresten uit andere vindplaatsen uit de Romeinse tijd zal informatie kunnen verschaffen over de import van mediterrane vis in Nederland.

### Beschreven vissen

Soms geven binnen één nederzetting verschillen in de samenstelling van de gegeten soorten aanwijzingen over de sociale status van de consument. Van belang hierbij is kennis van de gegevens uit schriftelijke bronnen. In ons geval zijn dit twaalfde-eeuwse en latere bronnen, zoals stadsrekeningen, kloosterrekeningen en tolregisters. Uit deze bronnen blijkt dat dertiende-eeuwse Nederlandse visserslui bekend waren met technieken voor het vangen van vis op de Noordzee.

De zeevisserij was toentertijd al belangrijk. Zo verleende koning Eduard I van Engeland in 1295 aan Hollanders, Zeeuwen en Friezen vergunning om voor de Engelse kusten op haring te vissen. Rond deze tijd bedreven Nederlanders de haringvangst ook in de Oostzee. Vanaf

9. Eén van de zeevissen die in de Romeinse tijd in Velsen 1 werd gegeten is de bot, zo bleek uit het archeologisch onderzoek van visresten.

12. Bij het opgraven van een neolithische nederzetting zeven de onderzoekers het opgepompte water, op zoek naar interessante resten.



9

het begin van de vijftiende eeuw nam de visserij op haring een ongekende vlucht in Nederland. Dit zou te danken zijn aan de uitvinding van het haringkaken in de veertiende eeuw en de uitvinding van het grote haringnet in 1416.

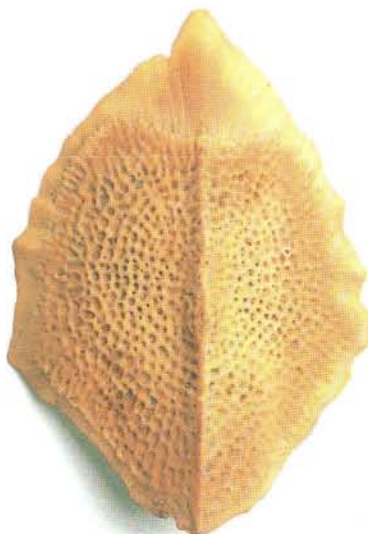
Van de bodembewonende vissoorten, zoals kabeljauw, schelvis en platvissen, weten wij dat ook zij in de Middeleeuwen in groten getale werden gevangen en gegeten. Dit blijkt bijvoorbeeld uit het huishoudregister van de klerk Hubert van Budel dat dateert uit 1332. Toentertijd at men aan het hof van de bis-



10

10 en 11. Het inwendige skelet van steurachtigen, zoals dat van de Russische steur *Acipenser gueldenstaedti* (10), bestaat uit kraakbeen. Vijf rijen van beenplaten zorgen voor de

stevigheid. Archeologen vinden bij opgravingen vaak resten van de beenplaten van een steurachtige die hier tot een eeuw geleden nog rondzwom: *Acipenser sturio*.



11





12

schop van Utrecht zeer geregeld de zeevissoorten haring, schelvis, wijting en een enkele maal poon, makreel en tong. Daarnaast maakt het register melding van de trekkende soorten steur, paling en zalm, en de zoetwatervissen snoek, brasem, karper, zeelt, baars en pos.

Uit de rekeningen van het bisdom Utrecht over de jaren 1378-1379 is op te maken dat het hof in sommige maanden van het jaar bijna dagelijks haring at. Daarnaast kocht het hof meer dan eens kabeljauw, schelvis, wijting, poon, schol en bot in. Tevens at men de trekkende soorten prik, steur, paling, elft, zalm en spiering en de zoetwatervissen snoek, brasem, voorn, karper, riviergrondel, baars en pos. Uit deze laatste opsomming volgt dat het vangen van trekvis en zoetwatervis voor de vissers die het hof van vis voorzagen, geen probleem was. In de Middeleeuwen werden reeds allerlei maatregelen genomen om het uitroeien van deze vissen tegen te gaan. Zo werden van hogerhand voorschriften gegeven over de tijd waarin mocht worden gevestigd.

Belangrijk voor de ichthyo-archeoloog zijn ook bronnen die informeren over de consumptiewaarde van de verschillende soorten. Eén daarvan is het zestiende-eeuwse *Vischboek* van de Scheveningse afslager Adriaen Coenen-zoon. Deze auteur merkt op dat de zogenaamde versvisserij, die de vissers van de kustdorpen in Holland bedreven, in de eerste plaats schelvis opleverde. Deze was "een ghemeen

mans spijzen", waarmee "veel binnenlantsche steden mede versche gespijst ende gevoet werden". Kabeljauw werd ook veel gevangen, maar "dit is voor die rijke, weeldige luyden, die haest die scelvissen sat worden"; evenals tong, die ook toen een luxe-artikel was: "seer waerde visgen voor die groote meesters, sijn oock delycaet van smake". Schol daarentegen was een "spijze van den ghemeen man".

De binnenvisserij leverde naast de gewone soorten zoetwatervis vooral paling op, die de Hollanders reeds vroeg exporteerden, bijvoorbeeld in 1397 naar Brunswijk. Op grond van voorgaande informatie zal duidelijk zijn dat resten van allerlei soorten zee-, trek- en zoetwatervis in laat-middeleeuwse en jongere context worden gevonden.

### Visfauna's in het verleden

Door combinatie van de gegevens van het visrestenonderzoek van verschillende gelijktijdige en niet-gelijktijdige nederzettingen verkrijgen de onderzoekers inzicht in de verspreiding van een vissoort. Indien dit van elke soort nauwkeurig bekend is, dan kan de vondst van resten van een bepaalde vissoort een daterende waarde hebben. Van belang hierbij is de kennis van de huidige Nederlandse visfauna en de vele veranderingen die zich in de laatste eeuw daarin hebben voltrokken. Zo ving men de eerste snoekbaars in Nederland pas op 16 januari

## Lengten en gewichten van individuen

Vissen nemen gedurende hun hele leven geleidelijk in lengte en gewicht toe. Het gewicht van een vis is echter in de loop van een jaar onderhevig aan aanzienlijke variaties. Dit staat in verband met de ontwikkeling van geslachtsprodukten, voedselaanbod en gezondheidstoestand. Daarom verdient het berekenen van de lengte de voorkeur boven het berekenen van het gewicht van de vis.

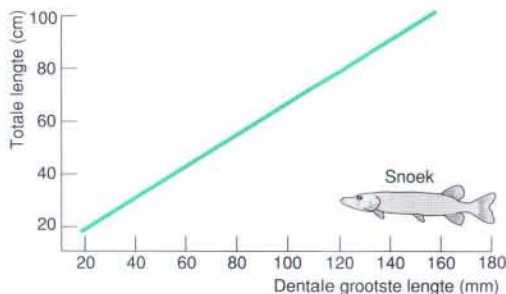
Uit de grootte van een afzonderlijk skeletdeel valt de lengte van het individu af te leiden. De meest gebruikte methoden hiervoor zijn: de verhoudingsmethode, de grafische methode en de regressiemethode.

De verhoudingsmethode, die stoelt op de verhouding tussen de grootte van het skeletdeel en de totale lengte van de vis, geeft de minst betrouwbare resultaten. Zij wordt gebruikt wanneer er niet voldoende recent vergelijkingsmateriaal voorhanden is.

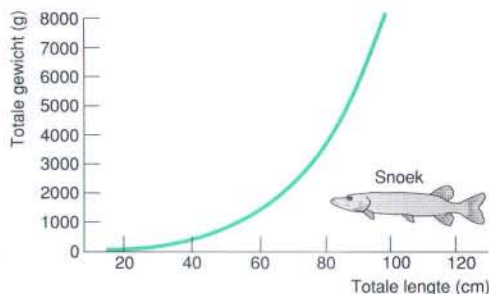
Bij de tweede methode zet men van een groot aan-



II-1a



II-1b



II-3

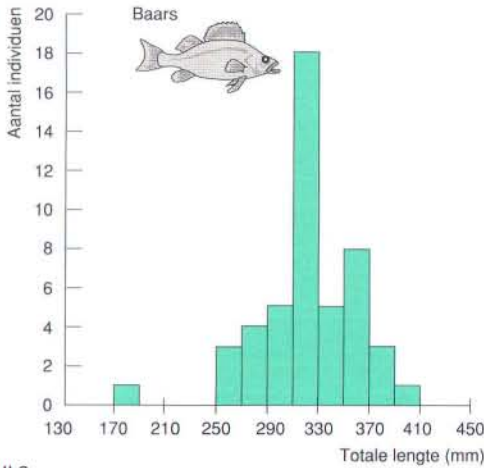
1888 in de Waal bij Nijmegen. Enige jaren eerder was deze soort, die van nature niet in de Rijn voorkwam, uitgezet in de Main en de Rijn.

Tot nog toe is niet duidelijk wanneer en hoe de karper in Nederland gekomen is. De soort komt hier niet van nature voor, maar wel in de wateren die behoren tot het stroomgebied van de Donau. Naar alle waarschijnlijkheid hebben monniken die nieuwe kloosters stichtten in Europa de karper naar onze streken meegebracht. De oudste Nederlandse karperresten dateren uit de eerste helft van de dertiende eeuw na Christus. Het huishoudregister van Hubert van Budel uit 1332 vermeldt dat de bisschop tijdens zijn reisje door België op 16 september te Diest en op 18 september te Leuven en Brussel karper at.

Een van de soorten waar de vroegere Velsenars op visten, was de meerval (afb. 4). Thans komt deze soort in België niet meer voor; in Nederland zou nog een kleine populatie in de Westeinderplassen en de Ringvaart van de Haarlemmermeer leven. Onderzoek van de visresten uit het Neolithicum tot in de Middeleeuwen op Nederlandse en Belgische vindplaatsen bewees dat de meerval vroeger een veel grotere verspreiding had dan nu en voorkwam in wateren die behoorden tot het stroomgebied van de Rijn, IJssel, Maas en Schelde. Wellicht heeft het vroeger gunstigere klimaat hier mee te maken. Voor een succesvolle voortplanting heeft de meerval namelijk watertemperaturen van meer dan 20°C nodig.

Het onderzoek aan visresten uit Romeins





II-2

II-1a en b. De ichthyo-archeoloog gebruikt onder meer de onderkaak van de snoek als een middel om

de totale lengte van vroeger gevangen snoek te bepalen.

II-2. Op basis van de lengte van het operculaire (een botje afkomstig uit het kieuwdeksel) heeft men de

verdeling bepaald van baarzen uit Velsen 1 over lengteklassen van 2 cm.

II-3. Om het gewicht van een vis te bepalen zijn er vergelijkingen of grafieken

die de relatie tussen lengte en gewicht van een soort aangeven.

tal recente exemplaren van een vissoort met verschillende totale lengten, meetgegevens van een bepaald skeletdeel, bijvoorbeeld lengte, grafisch uit tegen de totale lengte van de vis.

De onderzoeker stelt bij de regressiemethode op basis van deze meetgegevens een vergelijking op die het verband aangeeft tussen de lengte van het skeletdeel en de totale lengte van de vis. De regressiemethode is in feite de algebraïsche benadering van de grafische methode.

Grafieken en vergelijkingen zijn specifiek voor skeletdeel en vissoort. Aangenomen dat de anatomie van de soort over de afgelopen tienduizend jaar niet is gewijzigd, mogen zij ook worden toegepast op een archeologisch exemplaar van dit skeletdeel. Invulling van de lengte van het subfossiele skeletdeel in regressie-vergelijking geeft inzicht in de totale lengte van de subfossiele vis. De totale lengte van subfossiele snoek kan men bijvoorbeeld berekenen met een vergelijking waarin de relatie is aangegeven tussen de totale lengte en de lengte van het dentale, het tanddragende skeletdeel van de onderkaak (afb. II-1). Deze vergelijking, bepaald met behulp van de methode van de kleinste kwadraten (de regressiemethode), luidt:

$$TL = 6,3(X) + 55,5$$

In deze formule is TL de totale lengte in millimeters en (X) de lengte van het dentale in millimeters. Met een aantal van zulke vergelijkingen verkrijgt de onderzoeker informatie over de verschillende grootteklassen van de gevangen vis.

Velsen heeft ons veel geleerd over de viswereld in het verleden en de wijze waarop de mens die gebruikte. De zoetwatervisserij in de Romeinse tijd blijkt niet veel te verschillen van die in de negentiende eeuw. De zeevisserij was evenwel minder ontwikkeld. De vissers in de Romeinse tijd gebruikten slechts lijnen met haken, vermoedelijk vanuit kleine bootjes dicht onder de kust, en visten vooral in de zomer.

Onderzoek aan fossiele visresten blijkt waardevolle informatie aan archeologische vondsten toe te voegen. Nieuwe kennis brengt nieuwe vragen met zich mee. De studie van visresten binnen de archeologie zal mede helpen beantwoorden, of 's winters ook op zee werd gevist en wanneer voor het eerst het drijfnet op zee werd gebruikt.

#### Literatuur

- Brinkhuizen DC. Ichthyo-archeologisch onderzoek: methoden en toepassing aan de hand van Romeins vismateriaal uit Velsen (Nederland). Proefschrift Rijksuniversiteit Groningen, 1989.
- Wheeler A, Jones AG. Fishes. Cambridge: Cambridge Manuals in Archaeology, Cambridge University Press, 1989. ISBN 0-521-30407-5.
- Bloemers JHF, Louwe Kooijmans LP, Sarfatij H. Verleden Land. Amsterdam: Meulenhoff Informatief, 1986.

#### Bronvermelding illustraties

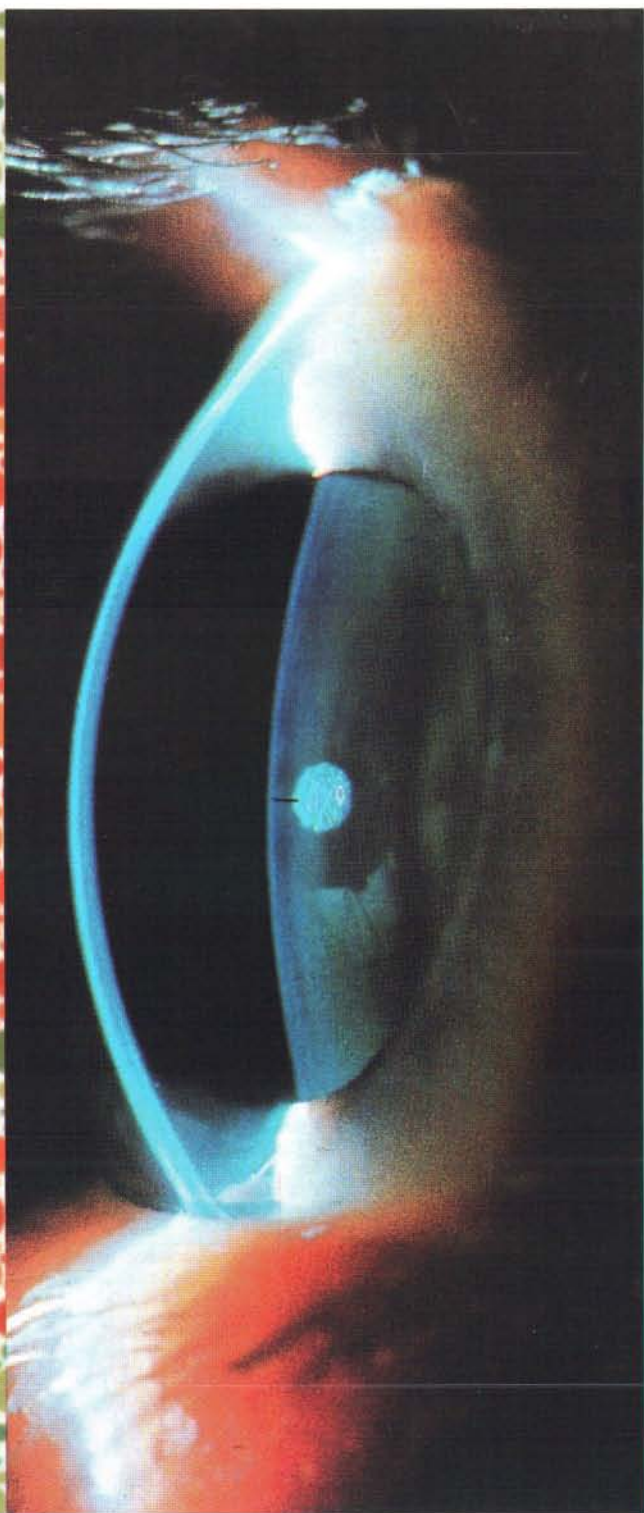
- Ronald Sheridan, Harrow-on-the-Hill: 1.
- Bob Brobbel, uit: Bloemers e.a. Verleden land: 2.
- Drs B. Beerenhout, Instituut voor Prae- en Protohistorie: 3.
- OVb, Nieuwegein: 4, 9.
- Biologisch-Archeologisch Instituut, Groningen: pag. 624-635, 5, 8.
- H. Brandsen, uit: Bloemers e.a. Verleden land: 6, 11, II-1a.
- Archeologische Werkgroep Nederland, Afd. Kennemerland, P. Vons, uit: Bloemers e.a. Verleden land: 7.
- De overige afbeeldingen zijn afkomstig van de auteur.



# **ZICHT OP KLEUR**

**EEN BONTE GESCHIEDENIS**





De oogarts Huddart beschreef in 1776 twee broers die geen kleuren konden onderscheiden. Huddart nam enkele proeven met stroken van verschillende kleuren. Over oranje meende een van de broers stellig: 'Dit is de kleur van gras; dit is groen.'

Wetenschappers hebben zich lange tijd gebogen over onze waarneming van kleuren. Voor nieuwe, verrassende kleurverschijnselen stelden zij steeds weer verklaringen op die zij vervolgens natrokken op hun houdbaarheid. Deze empirische onderzoeksmethode heeft geleid tot een beter begrip van het kleurensien in het algemeen en van het anders waarnemen van kleuren door sommige mensen.

Lichtstralen bereiken via de lens en het glasachtig lichaam het netvlies. Kegeltjes en staafjes zetten daar het zichtbare licht om in signalen, die vervolgens in de visuele hersenschors worden geïnterpreteerd. Bij kleurenblindheid moet dit proces ergens verstoord zijn. De natuurwetenschapper John Dalton zocht in 1792 de oorzaak van zijn kleurenblindheid in een verkleuring van het glasachtig lichaam van zijn ogen. Op zijn verzoek werd na zijn dood autopsie verricht, waarbij bleek dat deze theorie onjuist was.

**E. Vervae**  
*Stichting Histos  
Amsterdam*

De huidige interpretatie van kleurenblindheid stoelt op twee principes. Enerzijds beschouwt men de drie typen kleurgevoelige cellen in het netvlies van een niet-kleurenblind oog. Deze cellen zijn elk gevoelig voor een ander deel van het zichtbare spectrum.

Anderzijds gaat men uit van vier typen kleurgevoelige zenuwcellen in de visuele cortex, het deel van de hersenschors dat de signalen van het netvlies verwerkt. Deze cellen zijn verbonden met de netvliessen via enkele tussenstations. De cortexcellen hebben ieder een receptief veld in de buitenwereld, dat bestaat uit een centrum en een rand (afb. 5). Het eerste type raakt geëxciteerd – geactiveerd – als rood licht in het centrum van het receptieve veld valt en geïnhibeerd – geremd – als er groen licht op valt. Het omgekeerde geldt voor de rand. Bij het tweede type zijn de rollen van rood en groen verwisseld. De derde en de vierde soort cellen reageren op soortgelijke wijze op geel en blauw.

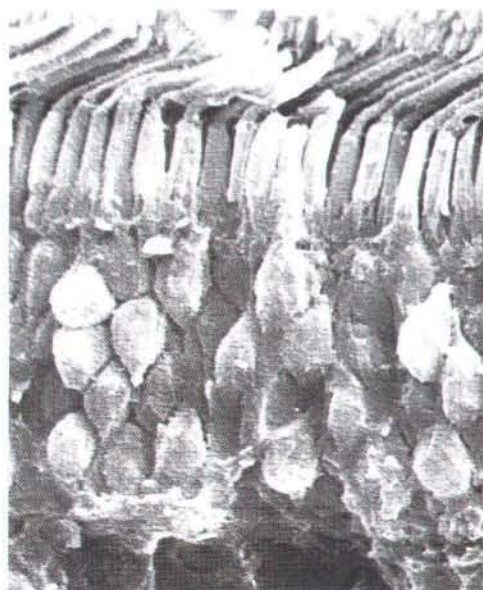
### Kleurenblindheid

Bij de meest gangbare vormen van kleurenblindheid ontbreekt één van de drie soorten netvliessen. Zo ontbreken bij roodblindheid de roodgevoelige cellen, zodat rood en groen

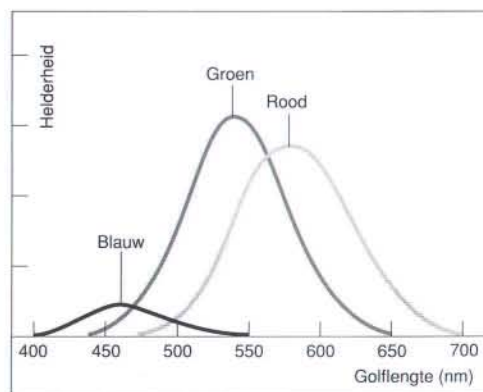
worden verwisseld omdat de eerste en tweede soort cellen in de hersenschors hun onderscheidingswerk niet kunnen doen. Op soortgelijke wijze ontbreken bij groenblindheid de groengevoelige cellen en bij blauwblindheid de blauwgevoelige cellen. Deze interpretatie van kleurenblindheid komt voort uit twee tradities: de driekleurentheorie en de theorie van de tegenkleuren.

### Driekleurentheorie

In 1666 nam Newton (1642-1727) waar dat een prisma het zonlicht breekt waarbij een kleurenspectrum ontstaat. Hij nam aan dat licht van een bepaalde kleur uit rechtlijnig voortbewegende deeltjes met een bepaald gewicht bestaat. Het prisma fungeert als een zeef die de deeltjes uit het zonlicht zeft. Na zijn ontdekking van de zwaartekrachtwet rond 1685 vroeg hij zich af of hij het mengen van kleuren kon weergeven als een zwaartepuntconstructie. Het was immers bekend dat het resultaat van een menging des te dichter bij een bepaalde kleur ligt naarmate daar meer kleurstof van is gebruikt. Dit principe vertoont overeenkomsten met de positie van het zwaartepunt, dat immers het dichtst bij de zwaarste massa ligt. Op grond van zijn prismaproeven meende Newton



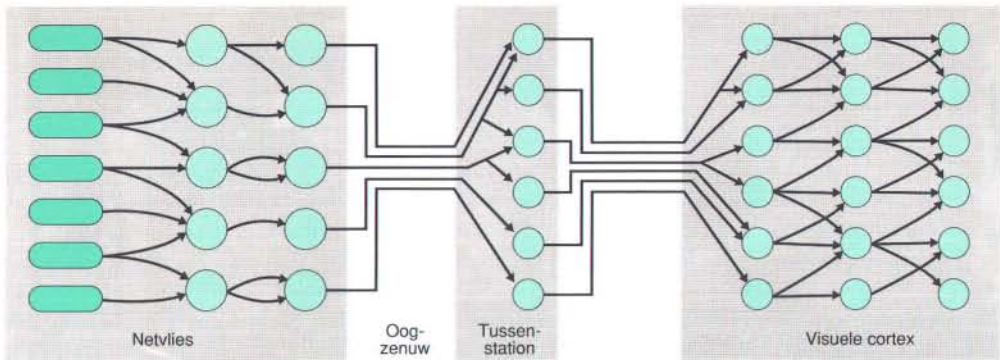
1



2

1 en 2. De kegeltjes in het netvlies zijn gevoelig voor de kleuren rood, groen en blauw. De gevoeligheid van ons oog voor blauw is niet zo groot: zij is hier twintig maal verhoogd weergegeven.





3

3. In het netvlies bevinden zich diverse zenuwcellen die de signalen van de kegeltjes doorgeven naar de

oogzenuw. Via een tussenstation, het *corpus geniculatum laterale*, worden de signalen doorgegeven

aan de visuele cortex. Daar zijn vier soorten cellen die de inkomende signalen interpreteren.

dat het spectrum cirkelvormig was, met wit als zwaarte- en middelpunt (afb. 10a).

Newton controleerde zijn kleurencirkel met behulp van kleurpoeders. Hij bleek inderdaad een spectrale kleur te krijgen door de burens van die kleur op de cirkel met elkaar te mengen: geel en blauw gaven groen, rood en geel gaven oranje, enz. Het resultaat was steeds iets lichter dan een spectrale kleur. Het punt dat correspondeerde met het mengsel lag dan ook dicht bij wit, het middelpunt van het spectrum. Bij diametraal tegenover elkaar liggende kleuren, de zogenaamde complementaire kleuren, liet de zwaartepuntconstructie Newton echter in de steek. In plaats van wit, gaven zulke mengingen een zwakke 'anonieme kleur'.

Vanaf 1801 beschouwde Young (1773-1829) de voortplanting van het licht niet als een rechtlijnige beweging, maar als een golfverschijnsel. Een lichtgolf zou berusten op trillingen van deeltjes in een onzichtbaar medium: de ether. Zo zou rood licht zich als een lange golf voortplanten en violet licht als een korte.

Voor wat betreft het kleurenzien veronderstelde Young dat er drie soorten zenuwvezels in het netvlies aanwezig zijn. Elk zou maximaal trillen als er licht in de bijbehorende basiskleur – rood, geel of blauw – op viel. Bij de overige kleuren zouden twee van deze vezels, bijvoorbeeld in het geval van groen de bij geel en blauw behorende vezels, op een voor die kleur kenmerkende wijze trillen. Een jaar

later verving hij de kleuren rood, geel en blauw door het drietal rood, groen en violet. Hij had namelijk gezien dat spectraal groen en violet samen blauw gaven en spectraal rood en groen samen in geel resulteerden. Groen en violet leken hem daarom fundamenteeler dan geel en blauw (afb. 4).

Youngs driekleurentheorie verklaarde kleurenblindheid als een onvermogen om rood te zien. 'De zenuwvezels van het netvlies die zijn afgestemd op de waarneming van rood, zijn', aldus Young, 'afwezig of verlamd'.

Natuurkundigen kenden Youngs theorie, maar aanvaardden haar niet. Een probleem was de opvatting dat spectraal geel een mengsel was van spectraal rood en groen, terwijl rode en groene kleurpoeders een donkere kleur gaven. Een ander struikelblok was dat spectraal geel en blauw volgens Young in wit resulteerden, terwijl men altijd had geleerd dat geel en blauw groen gaven.

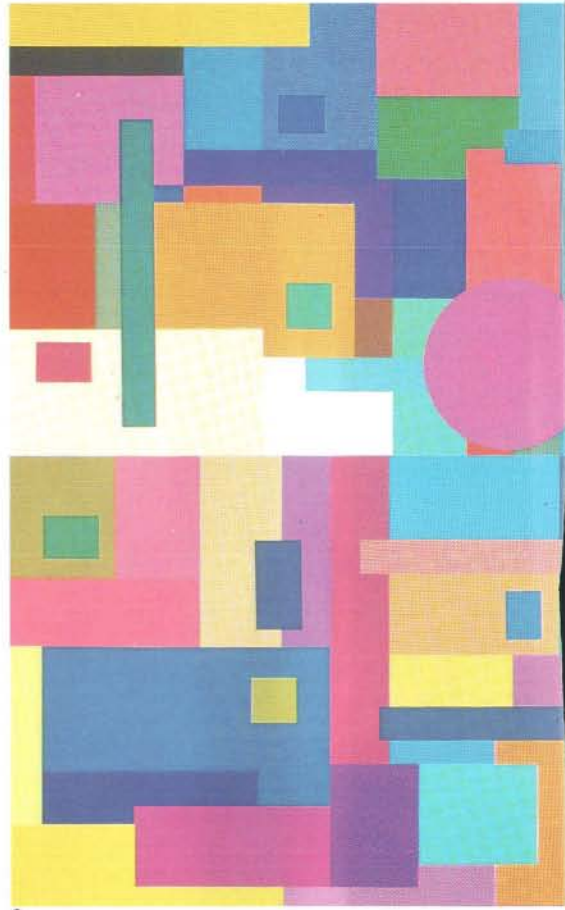
### Kleuren als vectoren

Tijdens proeven met gekleurd strooilicht dat via een prisma zijn oog bereikte, was Helmholtz (1821-1894) in 1852 op het idee gekomen dat twee gekleurde lichten konden resulteren in een witte kleurindruk. Daartoe onderzocht hij alle combinaties van kleuren uit het spectrum, oftewel spectrale kleuren. Geel en blauw licht gaven wit (en geen groen) en rood en

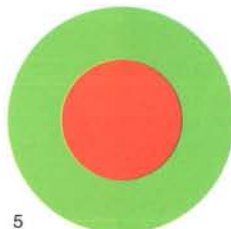
groen gaven geel, zoals Young in zijn driekleurentheorie had beweerd.

Helmholtz stond voor de vraag waarom gele en blauwe kleurstoffen samen een groene kleurindruk geven. Bij de beschouwing van de weg die het zonlicht volgt door een mengsel van gele en blauwe poederkristallen, onderscheidde hij twee gevallen. Bij reflectie van het invallende zonlicht door de kristallen blijft het licht wit. Zodra het licht echter in de kristallen binnendringt, wordt een deel ervan geabsorbeerd bij het afwisselend passeren van gele en blauwe kristallen. Hij stelde: 'Blauwe lichamen plegen groen, blauw en violet licht in merkbare hoeveelheid door te laten, gele daarentegen rood, geel en groen licht'. Groen bleef dus over omdat de overige kleuren waren verwijderd. Vandaar dat Helmholtz het mengen van kleurstoffen subtractief noemde en het mengen van spectrale kleuren additief (afb. 8).

Helmholtz controleerde ook Newtons wet, die zegt dat alle paren complementaire kleuren wit geven. Omdat alleen geel en blauw dat bleken te doen, verwierp hij Newtons kleurencirkel. Grassmann (1809-1877) hield deze kleurencirkel juist aan, niet alleen omdat geel en blauw samen wit geven maar ook omdat rood met groen in vaalgeel en met hemelsblauw in witachtig violet resulteert. Deze mengresultaten neigden immers naar wit. Grassmann verklaarde deze stand van zaken door op Newtons kleurencirkel zo te schuiven, dat vaalgeel



4. Young ontwikkelde in 1807 een driekleurentheorie en gaf de menging van



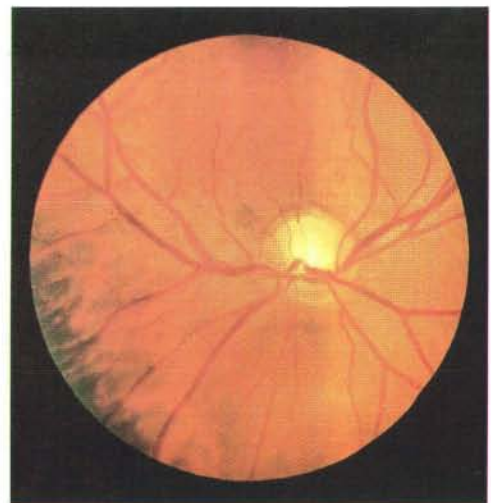
de drie basiskleuren weer met een driehoek.

5. Het receptieve veld in de buitenwereld van een cel uit de visuele cortex. Als in het centrum een rode prikkel of op de buitenrand

een groene prikkel valt, wordt de cel geactiveerd. Een groene prikkel in het midden of een rode prikkel op de rand remt de cel.

7. In het netvlies van het oog bevindt zich bij de gele vlek een gebied waar iedereen kleurenblind is.

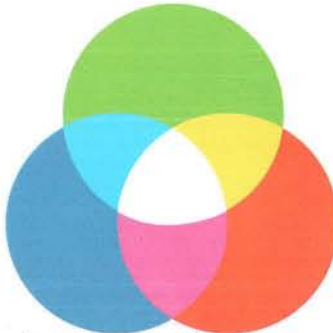
Hier bevinden zich zoveel kegeltjes dat men daar blauw niet goed kan waarnemen.



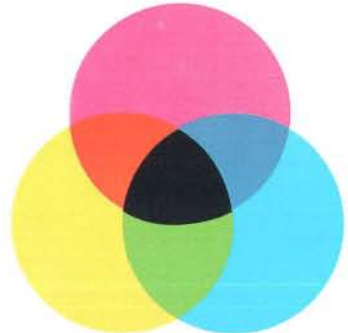


6. De psychofysicus Edwin Land onderzocht de invloed van een lichtbron op de kleurwaarneming. Daarbij gebruikte hij Mondriaan-achtige panelen met gekleurd papier. De relatieve intensiteiten van rode, groene en blauwe lampen bleken niet van invloed te zijn op de waargenomen kleuren.

8. Bij het mengen van de spectrale kleuren geel, cyanblauw en magentarood ontstaat wit. Helmholtz noemde dit additieve menging (8a). Het mengen van kleurstoffen blijkt een subtractief proces te zijn (8b).



8a



8b

en witachtig violet enigszins naast het middelpunt vielen (afb. 10b).

Grassmann, die van oorsprong meetkundige was, herformuleerde Newtons zwaartepuntconstructie door een kleur voor te stellen als een vector met het beginpunt in het middelpunt van een cirkel, wit. Het mengen van twee kleuren zou dan weergegeven kunnen worden als een optelling van twee vectoren, met gewichtsfactoren voor de verhouding van de mengkleuren.

Mengproeven van Grassmann en Helmholtz bevestigden grotendeels deze voorstelling van zaken, niet alleen voor paren spectrale kleuren (complementair of niet), maar ook voor paren in het binnengebied van Grassmanns kleuren-cirkel. Het lukte Helmholtz echter niet om, in het groene deel van het spectrum tussen 492 en

564 nm, een complementaire kleur voor groen te vinden. Deze groene kleuren gaven enkel met een mengsel van extreem rood en extreem violet wit. Van Grassmanns punt voor purper maakte hij daarom een rechte lijn tussen rood en violet (afb. 10c).

### Verwisselingslijnen

Helmholtz' kleurendiagram geeft het mengen van spectrale kleuren slechts bij benadering weer omdat Helmholtz lichtintensiteiten in verschillende mengingen niet op elkaar kon normeren. De eerste die daar wel in slaagde was Maxwell (1831-1879).

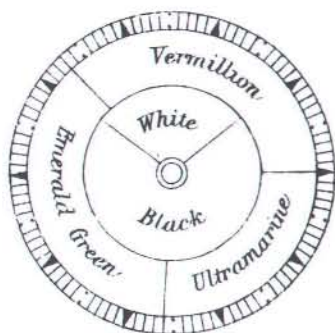
In 1849 deden Maxwell en zijn hoogleraar Forbes kleurproeven met twee draaiende schijven. Op de ene schijf bevonden zich een witte

en een zwarte strook en op de andere twee of drie gekleurde stroken. Beide schijven waren verdeeld in honderd gelijke segmenten.

In 1854 hervatte Maxwell dit onderzoek, waarbij hij in plaats van twee schijven slechts één schijf nam die hij verdeelde in een binnenring en een buitenring (afb. 9). Aldus vermeerde hij ongelijke lichtintensiteiten die ontstaan door bijvoorbeeld schaduwen en ongelijke belichting. In navolging van Young gebruikte hij op de buitenring rood en groen, maar hij verving violet door blauw. Een proefpersoon moest zeggen of de buitenring te rood, te groen of te blauw was en de binnenring te donker of te licht. Zo wist Maxwell in welke richting hij de segmenten moest bijstellen opdat de ringen voor de proefpersoon dezelfde kleurindruk hadden.

9. Maxwell bracht op een tol twee ringen aan. De binnenste ring bestond uit een zwart en een wit vlak, terwijl de buitenste ring gekleurde vlakken bevatte.

te. De vlakverdelingen waren verstelbaar. Maxwell liet de tol draaien en vroeg aan personen wanneer de buitenring hetzelfde grijs gaf als de binnenring.



9a



9b

Maxwell zette zijn bevindingen om in formules. Hij normeerde zijn resultaten op elkaar en concludeerde op grond van vele metingen die zijn theorie nauwkeurig bevestigden: 'Voor zover ik weet heeft men nooit vermoed dat de beoordelingen door het menselijke oog met betrekking tot kleuren zo streng getoetst zouden kunnen worden' (zie Intermezzo II).

Kleurvergelijkingen boden een nieuwe kijk op kleurenblindheid. Maxwell nam aan dat de gevallen van kleurenblindheid, waar hij over had gelezen, te verklaren waren met een ontbreken van de rode waarneming. Omdat kleurenblinden aangaven dat ze maar twee kleuren zagen die ze blauw en geel noemden, vroeg hij hen de ring aan te geven die het meest blauw of geel leek en welke ring het lichtst en welke het donkerst was. Met behulp van vergelijkingen kon Maxwell bepalen voor welke kleur een kleurenblinde de gevoeligheid miste. Dit bleek inderdaad een rode kleur te zijn (zie Intermezzo II).

Maxwell realiseerde zich dat zijn proeven vanwege de reflectie van zonlicht op de gekleurde segmenten deels op subtractie berustten. Na 1858 deed hij zuiver additieve proeven met spectrale kleuren, met zijn zogenoemde kleurendoos, die de eerdere resultaten bevestigden en specificieerden. Met behulp van deze proeven kan men een chromaticiteitsdiagram samenstellen (afb. 11). Kleuren waarvan

een kleurenblinde dezelfde kleurindruk heeft, liggen in dit diagram vanwege de vectoriële optelling op een rechte lijn.

### Tegenkleuren

In 1794 opperde Goethe (1749-1832) het idee dat kleurenzien een natuurkundig en fysiologisch verschijnsel is. Hij kwam tot deze zienswijze mede omdat bij gelijktijdig contrast de nodige fysische stimuli ontbreken: fysisch grijs wordt bij fysisch geel blauw gezien en bij fysisch rood groen (afb. 13).

Goethes benadering doortrekkend vatte Hering (1834-1918) in 1874 rood, blauw, groen en geel op als de vier basiskleuren. Hij stelde dat het oog tussen rood en blauw een tussenkleur ontdekt, violet, en dat er ook tussenkleuren bestaan tussen blauw en groen, tussen groen en geel en tussen rood en geel, maar niet tussen rood en groen en tussen blauw en geel. Daarom noemde hij rood en groen, en blauw en geel elkaars tegenkleuren. Deze twee paren kleuren zouden samenhangen met twee gezichtsstoffen: rood-groen-stof en blauw-geel-stof. De afbraak van de eerste zou in een rood-waarneming resulteren en opbouw in een groen-waarneming. Op analoge wijze zou men bij afbraak van de blauw-geel-stof geel zien en bij opbouw blauw. Als afbraak en opbouw van een gezichtsstof in balans zijn, hebben we



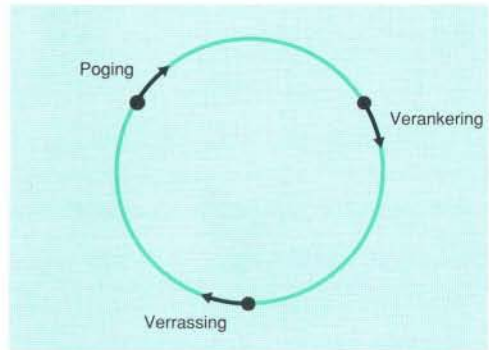
# De onderzoekscyclus

INTERMEZZO I

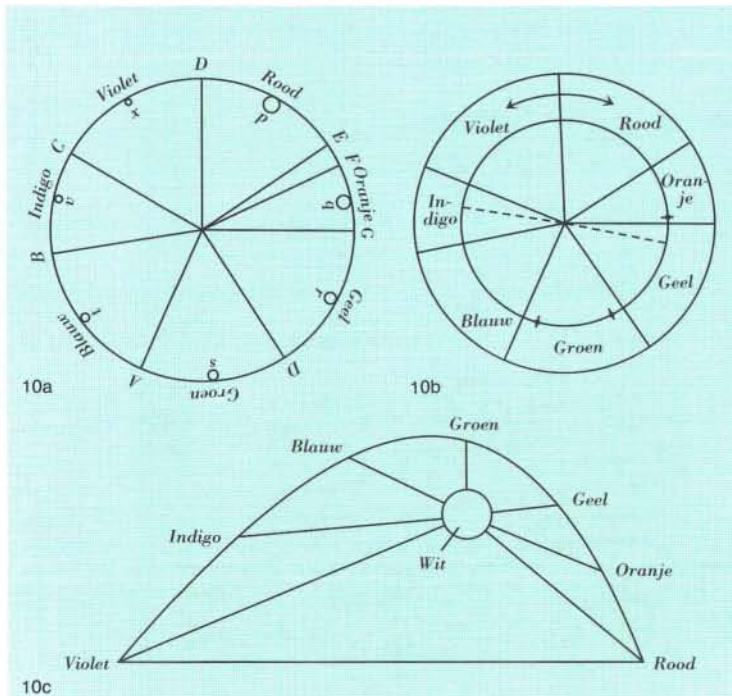
De onderzoekscyclus beschrijft hoe geldige, betrouwbare en toepasbare kennis tot stand komt.

In wetenschappelijk onderzoek zijn drie momenten herkenbaar. Allereerst wordt men verrast ten opzichte van een voor houdbaar geacht kader. Een voorbeeld hiervan is de waarneming van Helmholtz dat, tot zijn verbazing, niet elke kleur groen in de kleurencirkel van Grassman een complementaire kleur had. Vervolgens tracht men die verrassing te verklaren. Helmholtz verklaarde zijn verrassing met de aanname dat groen slechts wit zou kunnen geven met een mengsel van rood en violet. Het derde moment is het empirisch toetsen van die verklaringspoging. In het verhaal van Helmholtz is dit het moment dat hij door rood en violet in verschillende verhoudingen te mengen inderdaad groen kon neutraliseren. In dit geval bleek de verklaringspoging empirisch te verankeren. De stappen worden keer op keer hernomen, want vroeg of laat doen zich nieuwe verrassingen voor. Er zijn ook veel verklaringspogingen die moeten worden verworpen.

Zoals de lezer zelf kan controleren, loopt de onderzoekscyclus als een rode draad door de geschiedenis van pseudo-isochromatische platen. Deze ge-



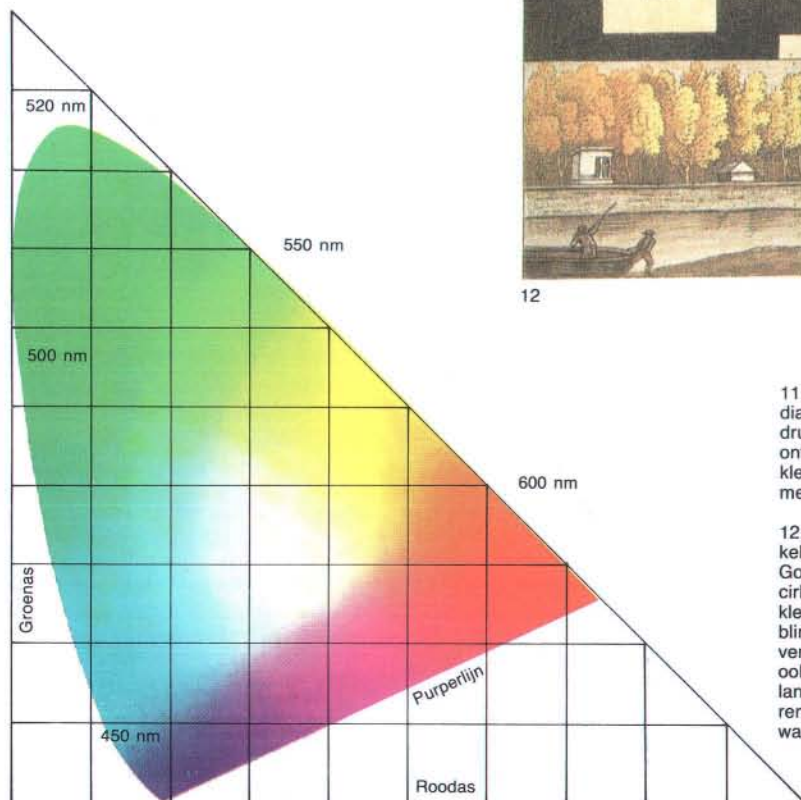
schiedenis laat ook zien wat algemeen geldt, namelijk dat een verankerde verklaring om een verdergaande verklaring vraagt. Zo schrijft Stilling bij de negende uitgave van zijn platen over tegenkleuren: "Een fysiologische verklaring voor dit merkwaardige gedrag hebben we niet. Voor die vragen die voor ons aan de orde zijn gaat het echter slechts om het heldere inzicht in de wetten van onze gewaarwordingen zelf."



10. Verschillende onderzoekers probeerden het visuele spectrum vorm te geven in kleurencirkels en -diagrammen. Newton introduceerde de kleurencirkel met wit als zwaarte- en middelpunt (10a). Grassmann paste de kleurencirkel van Newton aan, zodat hij binnen de kleurencirkel kon werken met vectoren. Bovendien nam hij aan dat purper een punt was. (10b). Helmholtz, die geen complementaire kleur voor groen kon vinden, tekende in plaats van Grassmanns purperpunt een rechte lijn tussen rood en violet, de purperlijn (10c).

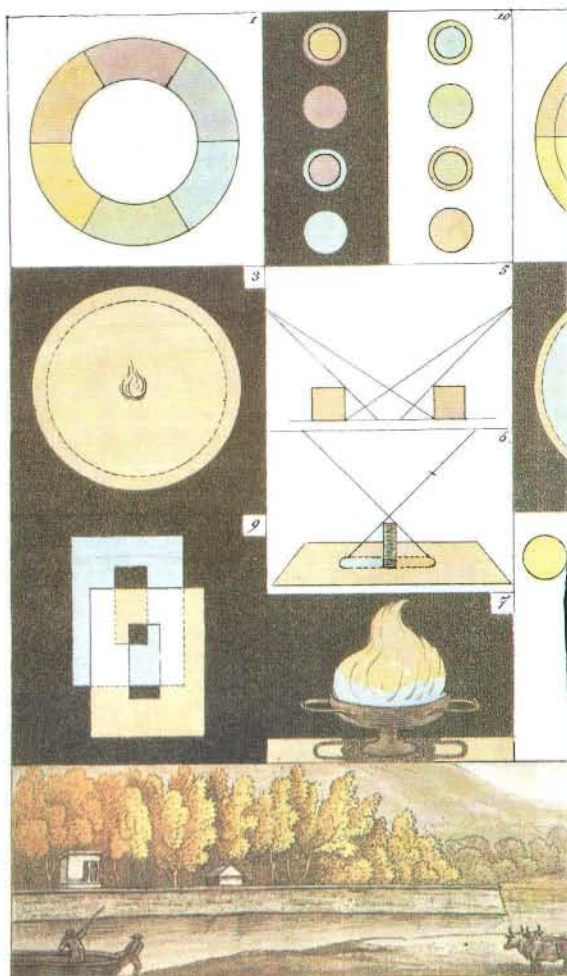
volgens Hering een kleurloze indruk, vergelijkbaar met het zien van wit.

Hering zag in het ontbreken van een gezichtsstof de verklaring voor kleurenblindheid. Hij nam dan ook aan dat er slechts twee soorten kleurenblindheid bestaan. De eerste die vanuit deze optiek de kleurzin bepaalde, was Stilling (1842-1915). Omdat hem was gebleken dat kleurenblinden doorgaans wisten wat in hun omgeving rood werd genoemd, ook als ze zelf van geel of blauw spraken, wilde hij voorkomen dat een proefpersoon kleuren moest benoemen. Volgens de theorie van de tegenkleuren kon dat met een gekleurd figuur op een achtergrond in de tegenkleur. Een blauw-geel-blinde zou immers een gele letter op een blauwe achtergrond niet kunnen lezen vanwege het ontbreken van de blauw-geel-stof. Stilling noemde geel en blauw dan verwisselingskleuren. Ook rood en groen zijn verwisselingskleuren en dat geldt voor alle kleurparen, als de basiskleuren maar in de juiste verhouding zijn gemengd.



11

644



12

11. In een chromaticiteitsdiagram zijn alle kleurdrukken opgenomen die ontstaan door spectrale kleuren twee aan twee te mengen.

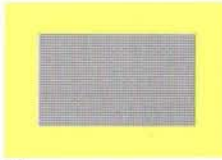
12. Naast een kleurencirkel (linksboven) tekende Goethe ook een kleuren-cirkel met in de binnenring kleuren die een kleurenblinde zou zien (rechtsboven). Deze kleuren komen ook terug in het zomerlandschap zoals een kleurenblinde dit volgens hem waarneemt.



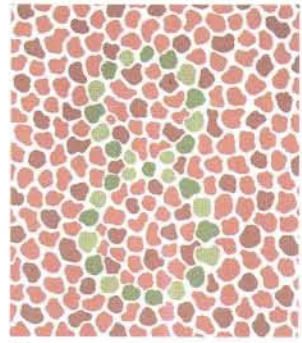


13. Fysisch grijs neemt men in de buurt van een andere kleur niet als grijs waar. Een gele rand geeft een blauwe kleurindruk, en een rode rand een groene indruk van het grijs. Dit fenomeen heet gelijktijdig contrast.

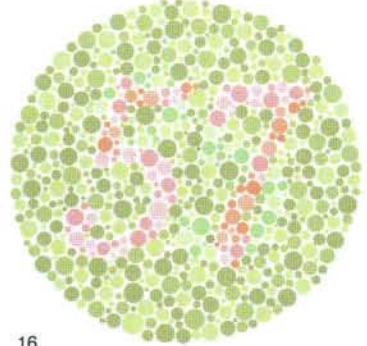
14, 15, 16. Stilling introduceerde gevlekte platen voor het onderzoek van kleurenblindheid (15). Ishihara verbeterde de pseudo-isochromatische platen door twee paar verwisselingskleuren te gebruiken (14, 16).



13



15



16

GROEN

GEEL

14

BLAUW

ROOD

Afbeeldingen die op verwisselingskleuren zijn gebaseerd, heten pseudo-isochromatische platen. Stillings eerste platen bestonden nog niet uit vlekken. Terwijl hij verwachtte dat rood-groen-blinden op bepaalde platen geen figuur konden onderscheiden, bleken ze daar wel toe in staat. Zijn vermoeden luidde dat ze de grenzen tussen de kleuren hadden waargenomen. Daarom introduceerde hij gevlekte platen (afb. 15).

Een belangrijke verbetering was dat een figuur niet slechts in de achtergrond verdween maar dat er een ander figuur voor in de plaats kwam. Om zo'n metamorfose te bereiken paste Ishihara het pseudo-isochromatische princi-

pe tweemaal toe, namelijk met twee paren verwisselingskleuren. Zo koos hij voor de 57 twee rood- en voor de achtergrond twee groentinten; van beide neigde de een naar geel en de ander naar blauw. Een kleurenblinde ziet zowel de geelachtige als de blauwachtige tinten elk als één kleur, en leest daarom het getal 35 in plaats van 57 (afb. 14 en 16).

### Donders' zonetheorie

Ondanks alle verschillen gingen zowel de driekleurentheorie als de theorie van de tegenkleuren uit van een 1-op-1-correspondentie tussen het netvlies en de psychische waarneming. Het

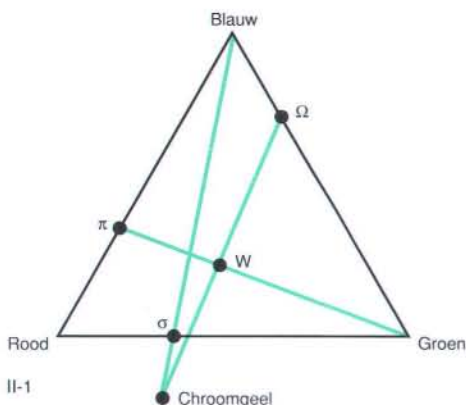
## De normeringsprocedure van Maxwell

Maxwell goot de resultaten van zijn experimenten in de vorm van vergelijkingen. In deze vergelijkingen geeft een getal het aantal segmenten weer. De kleuren zijn als volgt gecodeerd: R is rood, G groen, B blauw, W wit en Z zwart. Op basis van zijn experimenten kwam hij op de volgende vergelijking:

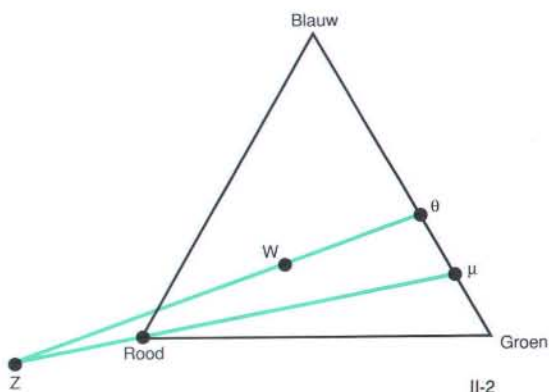
$$37 R + 36 G + 27 B = 28 W + 72 Z \quad (1)$$

Als hij rood door chroomgeel (C) verving kreeg hij:

$$33 C + 12 G + 55 B = 37 W + 63 Z \quad (2)$$



Maxwell normeerde zijn metingen door ze alle op vergelijking (1) te betrekken. Hij nam aan dat de 72 zwarte segmenten in vergelijking (1) geen kleurindruk of extra lichtintensiteit opleverden en slechts het wit veranderden in grijs. Door 28, het aantal witte segmenten, met  $100/28 = 3,57$  te vermenigvuldigen, kreeg hij als het ware honderd eenheden 'ideaal wit' dat eveneens zou worden verkregen als de drie kleuren in (1) spectrale kleuren zouden zijn.



netvlies zou het licht analyseren in drie dan wel vier basiskleuren, die ongewijzigd werden waargenomen.

In 1881 brak de Nederlandse oogheekundige F.C. Donders (1818-1889) in zijn zonetheorie met deze gedachte. Dat geel kon worden opgevat als resultaat van spectraal rood en groen, was voor hem de aanleiding de 1-op-1-correspondentie ter discussie te stellen. 'Uit het samengaan van twee kleuren kan een derde kleur voortvloeien in welke geen van beide zichtbaar is: bijvoorbeeld geel uit het samengaan van rood en groen; uit twee processen moet dus een derde proces *sui generis* voortkomen'. Hij veronderstelde dat netvlies en psyche door tussenstations zijn gekoppeld (en niet via een 1-op-1-verbinding) en wees de driekleurentheorie en de theorie van de tegenkleuren een beperkt geldigheidsgebied toe.

Na het voorafgaande zal het duidelijk zijn dat dit beperkte geldigheidsgebied voor de driekleurentheorie het netvlies is en voor de theorie van de tegenkleuren de werking van de



17

17. F.C. Donders ontwikkelde de zonetheorie; hierin is niet langer sprake van een 1-op-1-verbinding tus-

sen de psyche en het netvlies, maar van een meer-op-meer-verbinding (zie ook afb. 3).



Grassman had aangetoond dat men kleuren als vectoren mocht behandelen. Het was dus geoorloofd dat Maxwell (1) veranderde tot:

$$37 R + 36 G + 27 B = 100 W \quad (1')$$

Vervolgens wijzigde hij 37 W in (2) in  $(3,57 \times 37 =)$

132 W. Om de vergelijking kloppend te maken moest 33 C gelijk worden aan  $(132 - 12 - 55 =)$

$$65 C, \text{ zodat: } 65 C + 12 G + 55 B = 132 W \quad (2')$$

Hij controleerde (1') en (2') door te bepalen hoeveel chroomgeel, blauw en zwart de ene schijf zou moeten bevatten en hoeveel rood en groen de andere om twee gelijke kleurindrukken te krijgen.

In een gelijkzijdige driehoek construeerde hij met behulp van (1) eerst punt W voor wit (afb. II-1). Het mengpunt  $\pi$  voor R en B vond hij met de vergelijking  $R\pi : B\pi = 27 : 37$ . Uit  $74 \pi + 36 G = 100 W$  volgt dan:  $\pi W : WG = 36 : 74$ . Dan krijgt men uit (2'), via  $12 G + 55 B = 67 \Omega$  en  $65 C + 67 \Omega = 132 W$ , punt C voor chroomgeel. Op grond van lengtemetingen voorspelt de theorie voor het snijpunt van RG en BC punt  $\delta$  voor lichtgeel:

$$39 C + 22 B + 39 Z = 58 R + 42 G.$$

Dit klopte volgens Maxwell, want het experiment gaf lichtgeel met:

$$39 C + 21 B + 40 Z = 59 R + 41 G.$$

### Maxwell en kleurenblindheid

Kleurenblinden bleken donker blauwachtig groen gelijk te zien aan rood:

$$19 G + 5 B + 76 Z = 100 R \quad (3)$$

Maxwell tekende in een gelijkzijdige driehoek RGB het punt Z voor de kleurwaarneming die een kleurenblinde mist, door eerst het punt voor blauwachtig groen te bepalen (afb. II-2). Dit is punt  $\mu$  dat GB volgens  $G\mu : \mu B = 5 : 19$  verdeelt. Uit (3) volgt dat  $\mu$  voor een kleurenblinde dezelfde kleur heeft als R. Dan moet Z op de lijn  $\mu R$  buiten de driehoek liggen, want  $19 G + 5 B = 24 \mu$  terwijl  $\mu$  en Z samen R moeten opleveren zodat  $ZR : \mu R = 24 : 76$ .

Dat punt Z de ontbrekende kleurindruk weergeeft, was nog slechts een poging om vergelijking (3) te verklaren. Ter controle bepaalde Maxwell bij een niet-kleurenblinde punt W voor wit. Dan zou de lijn ZW voor een kleurenblinde slechts grijze tinten bevatten, met daarboven slechts 'blauw' en daaronder slechts 'geel' (voor een niet-kleurenblinde ligt geel op RG). In een experiment bleek deze theorie met de praktijk te kloppen. Punt Z was inderdaad die waarneming van het ongestoorde gezichtsvermogen, die bij een kleurenblinde ontbreekt.

psyche. Later bleek men 'psyche' te kunnen vervangen door 'visuele cortex'.

De pseudo-isochromatische platen zijn weliswaar ontstaan vanuit de theorie van de tegenkleuren, maar onze kijk op de betekenis van deze platen is in de loop der tijden veranderd. De vier tinten in een pseudo-isochromatische plaat liggen op twee verwisselingslijnen. Daardoor verkrijgt een kleurenblinde slechts twee kleurindrukken. Aan de andere kant liggen de verwisselingslijnen zo dicht bij elkaar dat een niet-kleurenblinde met moeite de nuances binnen rood en groen ziet.

Vanuit het chromaticiteitsdiagram valt bovendien de idee achter de theorie van de tegenkleuren te reconstrueren: rood en groen geven samen lichtgeel, dat men voor wit hield, en geel en blauw geven samen wit. De kleurenblindheidsproef is een voorbeeld van één van de talrijke meetinstrumenten die zijn ontwikkeld in een bepaald theoretisch kader, maar die volgens de huidige inzichten in een ander kader worden geïnterpreteerd.

Dank aan prof dr R.A. Crone, emeritus-hoogleraar in de oogheelkunde aan de Universiteit van Amsterdam, voor zijn adviezen.

### Literatuur

Colenbrander MC. Kleur en contrast – In het oog springende verschillen. *Natuur & Techniek* 1985; 53: 7, 539-553.

Vervaeke E. Pseudo-isochromatische kleurenblindheidsproeven. In: *Struktuur en genese*. Nov. 1990. St. Histos.

### Bronvermelding illustraties

Leica BV, Den Haag: pag. 636-637 (achtergrond).

Uit: Hubel DH. Visuele informatie – Schakelingen in de hersenen. Maastricht: Wetenschappelijke Bibliotheek, Natuur & Techniek, 1990: pag. 636-637 (voorgond), 6, 7.

Uit: Kessel RG, Kardon RH. Cellen, weefsels en organen. Maastricht: Natuur & Techniek, 1983: 1.

Uit: Young T. Natural Philosophy and the Mechanical Arts (1807). Universiteitsbibliotheek, UvA: 4.

Uit: Sherman PD. Color vision of the 19th century. Bristol: Hilger, 1981: 9.

Spectrum BV, De Meern: 11.

Uit: Goethe JW von. Zur Farbenlehre. Dortmund: Die bibliophilen Taschenbücher Nr. 75, Harenberg Kommunikation, 1979, 1982: 12.

Uit: Stilling J. Pseudo-isochromatische Tafeln (1889). Universiteitsbibliotheek, UvA: 15.

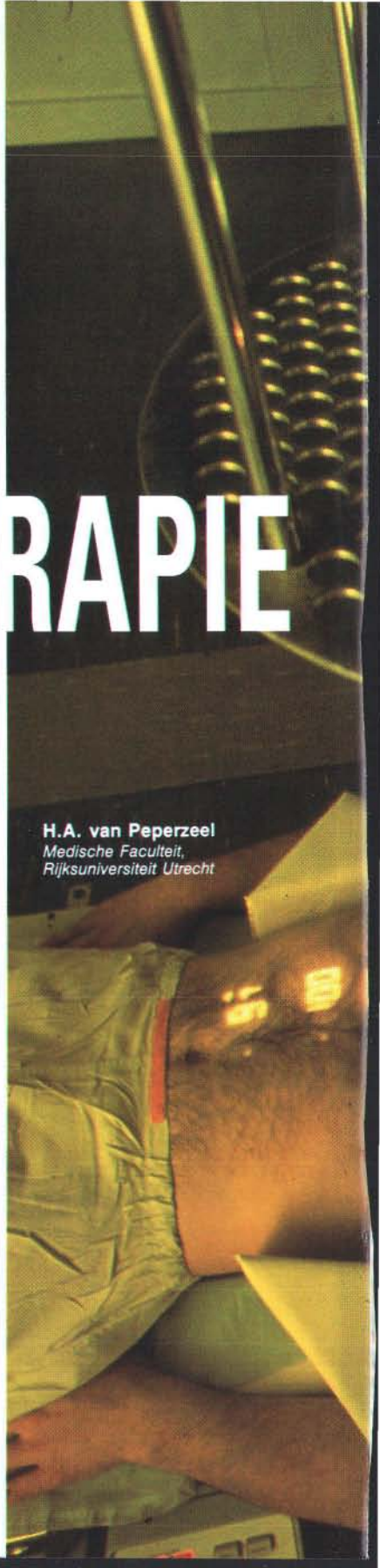
I. Boltendal, F.C. Donders-instituut, Utrecht: 17.

# RADIODIETHERAPIE

## Theorie uit de praktijk

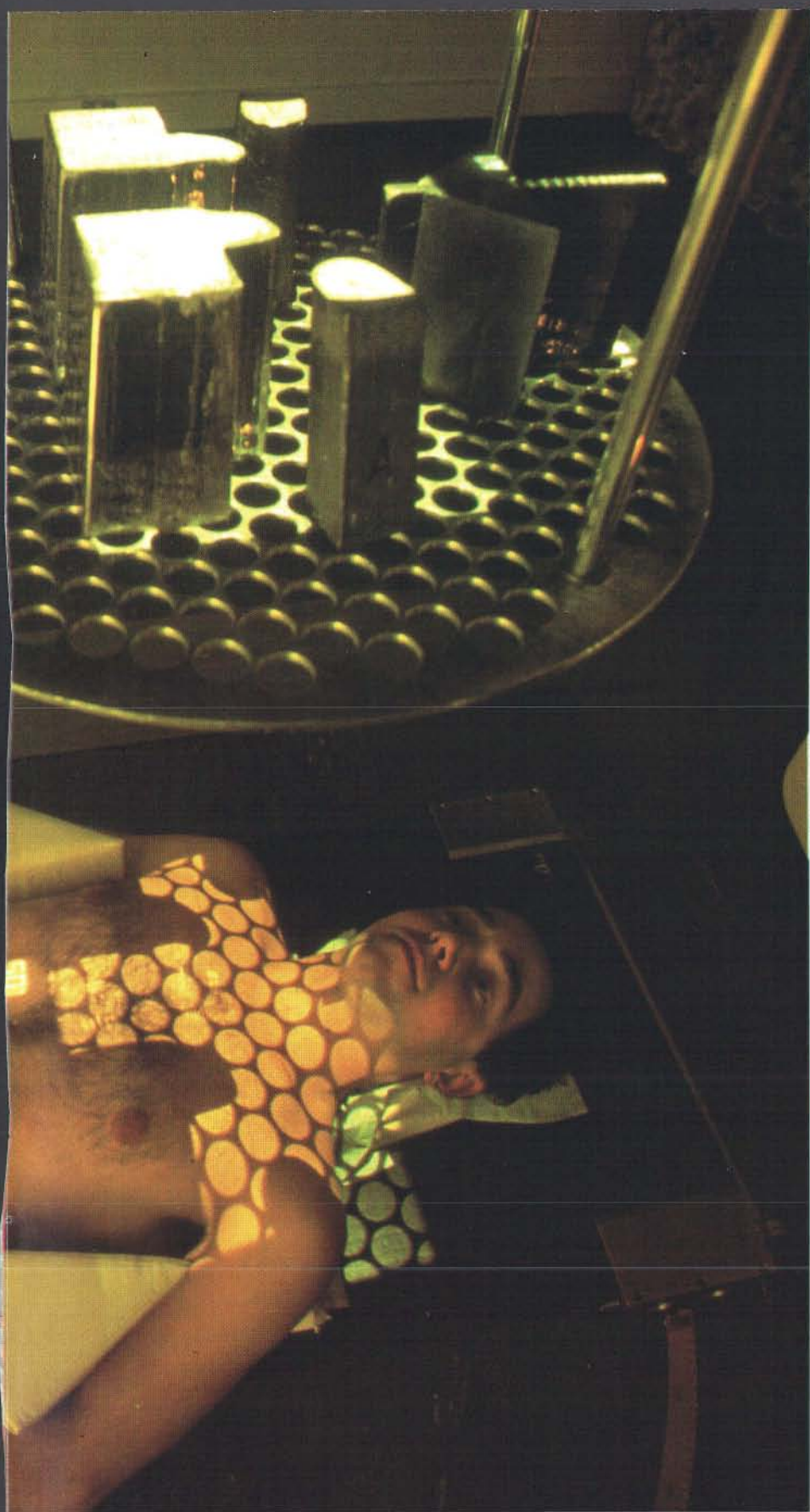
Het behandelen van patiënten met röntgen- of gammastraling berust op proefondervindelijke kennis. Na de ontdekking van deze soorten straling, nu bijna honderd jaar geleden door Wilhelm Röntgen en Marie Curie, werd al spoedig geconstateerd dat er in levend weefsel na bestraling veranderingen optreden die soms gunstig en in andere gevallen nadelig zijn. Met vallen en opstaan hebben radiotherapeuten geleerd deze straling toe te passen met gunstig effect voor de mens.

Een man ondergaat bestraling met een lineaire versneller als therapie tegen de ziekte van Hodgkin, een tumor van het lymfoïde stelsel. De verlichte plekken op het lichaam van de patiënt tonen welk deel van het lichaam wordt behandeld. Loden blokken tussen de versneller en de man voorkomen dat kwetsbare organen, zoals de longen, een te hoge dosis straling krijgen.



**H.A. van Peperzeel**  
*Medische Faculteit,  
Rijksuniversiteit Utrecht*





Op dit ogenblik worden overwegend levensbedreigende ziekten met bestraling behandeld, zoals kanker en andere kwaadaardige aandoeningen. Dat was vroeger wel anders: ook eczeem en overmatige menstruatie kwamen voor bestraling in aanmerking. Op korte termijn waren de effecten gunstig, maar veelal keerden de klachten terug, zodat de behandeling werd herhaald. Zo werd er in de jaren vijftig, toen er bij schoolkinderen veel hoofdschurft voorkwam, nog bestraling toegepast om het hoofhaar te laten uitvallen, waarna de schurft gemakkelijker met zalf kon worden behandeld. Het haar kwam later nogal eens krullend terug, wat veel moeders hogelijk waardeerden.



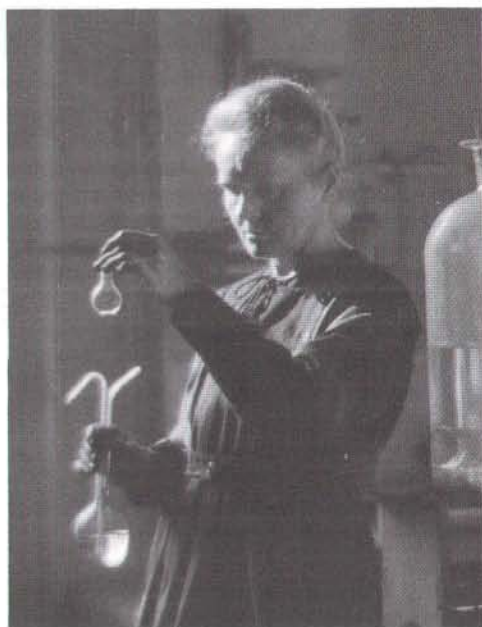
1

Pas in de jaren zestig drong het begrip door dat de nadelige bijwerkingen van bestraling op de lange termijn moeten worden afgewogen tegen de gunstige effecten van vlak na de behandeling. Zeker toen het in brede kring bekend werd dat straling ook kwaadaardige tumoren kan veroorzaken was het keerpunt bereikt. Van toen af kwam radiotherapie nauwelijks meer in aanmerking voor goedaardige aandoeningen.

## Een theoretisch model

De hypothese dat ook bij menselijke tumoren na de bestraling het aantal delende cellen tijdelijk in omvang toeneemt is aannemelijk gemaakt door menselijke tumoren te merken met radioactief materiaal en vervolgens minimale stukjes weefsel vóór en na bestraling onder het microscoop te bestuderen. Dank zij de *flowcytometrie* beschikken we momenteel over een nog elegantere methode, die geen gebruik maakt van radioactieve stoffen. Deze methode werkt als volgt.

Voordat cellen zich delen wordt het erfelijk materiaal, het DNA, in de celkern verdubbeld. Wanneer



2

1. Wilhelm Conrad Röntgen (1854 - 1923) ontdekte in 1895 een geheimzinnige straling die uit de anode van een kathodestraalbuis vrijkwam. Dexe 'X-straling' bleek elektromagnetische straling met een groot doordringend vermogen. In 1901 kreeg Röntgen de Nobelprijs voor zijn ontdekking.

2. Marie Curie (1867) behoorde tot de ontdekkers van radio-activiteit en isoleerde radio-actieve elementen. In 1903 en 1911 kreeg zij een Nobelprijs. Later wijdde zij zich aan het gebruik van straling in de geneeskunde. Ze stierf in 1934 aan leukemie, het gevolg van jarenlange blootstelling aan straling.



van een minimaal tumorbrokje een celsuspensie wordt gemaakt en er wordt een DNA-kleurstof aan toegevoegd, zullen de cellen met het dubbele gehalte DNA ook de dubbele hoeveelheid kleurstof hebben opgenomen. Door de cellen in een vloeistof cel voor cel door een capillair langs een laser te leiden kunnen de cellen met de dubbele DNA-inhoud worden onderscheiden van de dochtercellen met het normale DNA-gehalte. Na herkenning worden ze geteld. Na bestraling blijkt het aantal cellen met dubbele DNA-inhoud te zijn toegenomen.

Met deze kennis is het nu mogelijk modellen te

ontwerpen om de groeisnelheden van menselijke tumoren te benaderen. In deze computermodellen kunnen voor de delende en de niet-delende fractie cellen verschillende waarden worden ingevoerd, evenals een bekende celcyclustijd en een gegeven percentage cellen dat wordt gedood en afgevoerd. Hieruit kan een schatting van de groeisnelheid van de tumor worden gemaakt en tevens kan de stralingsgevoeligheid globaal worden berekend. Aldus is het mogelijk de invloed van standaard doses bestraling uit te rekenen.



### Nieuwe ontwikkelingen

Inmiddels was er wel veel veranderd in de bestralingsapparatuur die voor de behandeling werd gebruikt. In Nederland en België werd tot het eind van de vijftiger jaren gewerkt met röntgenstraling die werd opgewekt bij spanningen tot maximaal 300 kV. De hoogste dosis werd aan het oppervlak van het bestraalde gebied bereikt, dus in de huid. Voor tumoren die dieper dan vier centimeter onder de huid lagen was een dusdanige dosis nodig dat ernstige huidschade het gevolg was.

Na 1960 kwam energierijkere straling ter beschikking die de huid zonder veel interactie passeert; daardoor kwamen ook dieper gelegen tumoren voor behandeling in aanmerking. Aanvankelijk werd van de kobaltbron gebruikgemaakt, waarmee tumoren tot zeven à acht centimeter diepte konden worden bereikt. Later kon men met de hoog energetische straling van de lineaire versneller zelfs elke tumor op elke willekeurige diepte in het lichaam met een hoge dosis straling effectief bestralen.

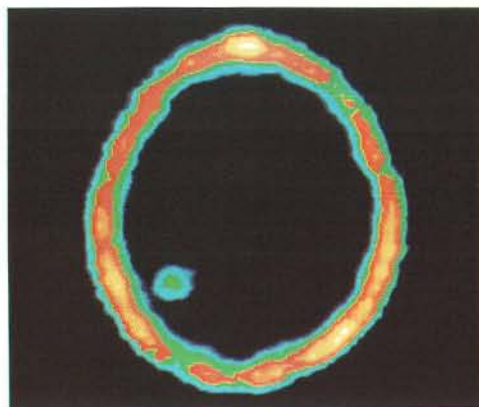
Deze ontwikkelingen waren zonder fysisch onderzoek en technische vooruitgang niet mogelijk geweest. Ook nu nog is de radiotherapie een vak dat meer empirisch dan experimenteel van aard is. Dit neemt niet weg dat er uitstekend experimenteel onderzoek is en wordt verricht naar de effecten van straling op levend weefsel. Met name bij kleine proefdieren en in weefselkweken is het biologische effect van straling goed bestudeerd. Maar: de gekweekte cellen en de proefdier tumoren blijken allemaal



3

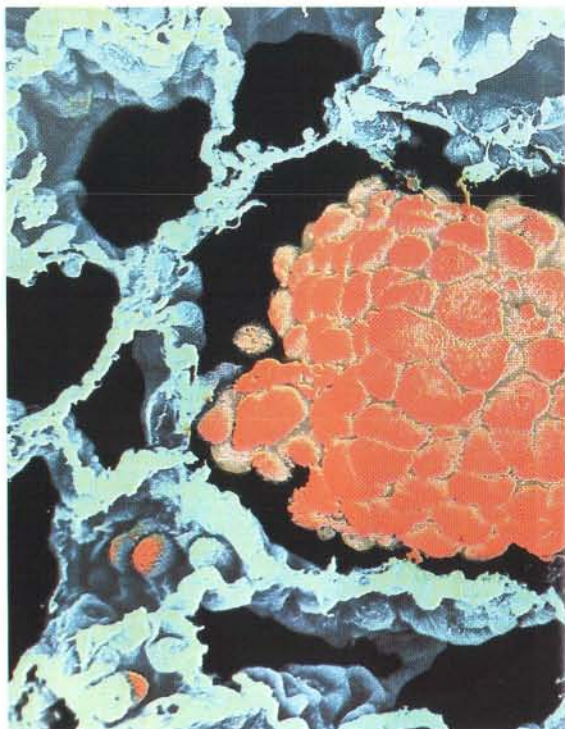
3. Dankzij radioactieve isotopen in verbindingen die zich in het botweefsel ophopen, is het mogelijk het hele skelet in beeld te brengen. Op enkele van de ribben van deze kankerpatiënt zijn uitzaaïngen te zien van een tumor elders in het lichaam.

4. Het goed doorbloede hersenvlies is op deze 'doorsnede' door het hoofd goed te zien door een radio-isotoop die in de bloedbaan is gebracht. De hersentumor linksonder heeft de verbinding ook opgenomen.



4

5. Een kleine tumor (rood) vult een longblaasje bij een patiënt met longkanker. Kleine tumoren reageren vaak goed op een bestralingsbehandeling. Het probleem is echter dat ze moeilijk kunnen worden opgespoord.



5

bijzonder stralingsgevoelig te zijn. Daardoor zijn ze slecht te vergelijken met tumoren bij de mens, die tijdens de bestraling soms als sneeuw voor de zon blijken te verdwijnen en in andere gevallen juist sterk resistent tegen de straling blijken te zijn.

#### Langzaam en snel groeiende tumoren

Dat menselijke tumoren grote verschillen in groeisnelheid kunnen vertonen, heeft mensen uit de kliniek altijd sterk geïntrigeerd. Soms vertelde de patiënt dat hij of zij het tumortje al jaren had en dat het nauwelijks groter was geworden; een andere keer was het gezwel in enkele weken ontstaan. Toch kon men in een aantal gevallen over de groeisnelheid van een tumor opmerkelijke voorspellingen doen door ervan uit te gaan dat een tumor gelijkmatig groeit en voortkomt uit één of enkele cellen — die laatste veronderstelling geldt nu nog.

Over de eerste veronderstelling — de constante groei van tumoren — is veel gediscussieerd. Experimenteel onderzoek in het labo-

ratorium wijst erop dat microscopisch kleine tumoren een hoge groeisnelheid bezitten, waarna een periode van constante groei volgt; zodra een tumor een grote omvang heeft bereikt, treedt een vertraging van de groeisnelheid in.

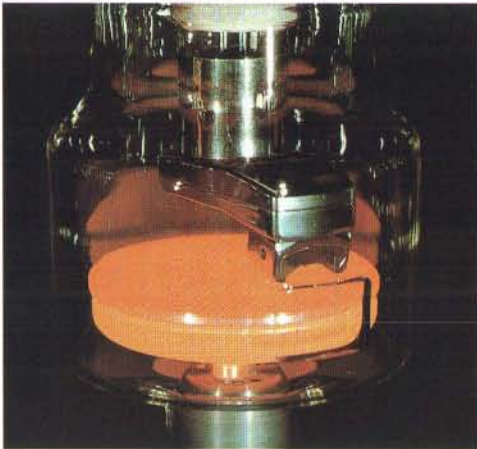
Bij de mens is over het allereerste begin van de tumorgroei weinig bekend. Voordat het gevoeligste diagnostisch onderzoek een tumor aan het licht kan brengen, hebben er al zeker 25 verdubbelingen van het volume plaatsgevonden. Het tumortje is dan enkele millimeters groot. Na 43 verdubbelingen zou de tumor een zodanig groot volume hebben dat de patiënt eraan overlijdt. Zo'n tumor zou namelijk tussen de 10 en 15 kilogram wegen.

In het betrekkelijk kleine deel van de tumor-groeiperiode dat wij kunnen waarnemen en waarin er nog kans is op genezing, neemt het tumorvolume per tijdseenheid met een constant percentage toe. Het duidelijkst kon dit worden aangetoond bij de groei van uitzaaiingen in de longen, die zichtbaar zijn op röntgenopnamen.





6



7

6 en 7. Een röntgenbuis (7) is een vacuüm gezogen buis met een grote, gloeiende kathode en een groot potentiaalverschil ( $10^4$ - $10^6$  V) tussen kathode en anode. Bij het 'bombardelement' op de anode met energierijke elektronen zendt die röntgenfotonen

uit. De energierijke straling is in staat door het lichaam heen te dringen, waarbij niet alle weefsels even doorlaatbaar zijn. Dit verschijnsel benut men bij het maken van röntgenfoto's (6), waarmee men bepaalde tumoren kan lokaliseren.

Uit de celbiologie was al heel lang bekend dat levende cellen zich in twee dochtercellen kunnen delen. Gewoonlijk vindt een dergelijke celdeling plaats om verloren gegane cellen te vervangen – bijvoorbeeld om een wond te sluiten. Dit proces van celdeling wordt gewoonlijk 'gestuurd', dat wil zeggen dat de celdelingen alleen daar plaatsvinden waar dat nodig is.

Bij kwaadaardige tumoren ligt dat anders. De celdeling van een tumor is volledig ongeremd en daardoor blijft de tumor doorgroeien. We spreken dan van autonome groei en zelfs wanneer men de andere kwaadaardige eigenschappen van tumoren – zoals het veroorzaken van uitzaaiingen via de bloedbaan of het infiltreren dwars door bloedvaten en spieren heen – buiten beschouwing laat, is deze autonome groei op zich al dodelijk voor de patiënt, temeer daar ook de uitzaaiingen autonome groei gaan vertonen.

Hoe is het nu verklaarbaar dat tumoren bij de mens verschillen in groeisnelheid kunnen vertonen? Gezien het voorgaande dacht men dat dit verschil moest worden verklaard door

aan te nemen dat bij ongeremd groeiende tumorcellen de tijd tussen twee celdelingen zou variëren. Het feit dat snelgroeiende proefdier-tumoren en soms zeer langzaam groeiende menselijke tumoren zoveel van elkaar verschillen zou dan moeten berusten op een aanzienlijke variatie in de periode tussen twee celdelingen.

In 1958 werden de resultaten van een fraai onderzoek gepubliceerd dat tot heel andere conclusies leidde. Men had ontdekt dat in een proefdiertumor niet alle cellen aan de deling deelnemen. Een aantal cellen bleek niet te delen, een aantal cellen deelde wel en een aantal andere stierf af en verdween uit de tumor. Dat tumoren verschillen in groeisnelheid kennen, bleek dus niet zozeer het gevolg van verschillen in de periode tussen twee celdelingen, maar vooral van verschillen in het percentage delende cellen. In snelgroeiende tumoren delen meer cellen dan in langzaam groeiende.

Aangezien men al wist dat delende en niet-delende cellen van elkaar verschillen wat betreft hun stralingsgevoeligheid, lag het nu voor de hand om de verschillen in stralingsgevoeligheid tussen snelgroeiende en langzaam groeiende tumoren toe te schrijven aan het feit dat bij een grotere stralingsgevoeligheid het percentage delende cellen groter is.

## De juiste behandeling

Theoretische kennis is van praktisch nut bij het selecteren van de meest geschikte behandeling voor tumoren. Een goed voorbeeld daarvan was het onderzoek naar de behandeling met neutronenstraling, een deeltjesstraling met hoog energetisch effect. Van neutronenstraling was uit experimenteel onderzoek bekend dat het effect aanzienlijk groter is dan van röntgen- en gammastraling. Maar helaas is dit zowel voor tumorcellen als voor gezonde cellen het geval. Alleen wanneer het effect op tumorcellen groter is dan op gezond weefsel is van deze neutronenstraling dus een heilzaam effect te verwachten.

Tumoren van mens en proefdier verschillen veel meer in stralingsgevoeligheid dan hun gezonde weefsels. In de gezonde weefsels van proefdieren werd bij 14 MeV-neutronen een radiobiologisch effect gevonden, dat 2,5 tot 3 maal zo groot was als dat van harde röntgenstraling. In het Antoni van Leeuwenhoek-ziekenhuis kon men de beschikking krijgen over een neutronenversneller die 14 MeV-neutronen leverde. Het was dus zaak om na te gaan welke menselijke tumoren daarvoor geschikt zouden zijn.

Patiënten die in beide longen uitzaaiingen hadden, en voor wie geen andere therapie aanwezig was, gaven hun toestemming voor een éénmalige bestraling. Aan de metastasen in de ene long werd neutronenbestraling, aan de metastasen in de andere long werd röntgenbestraling toegediend. Uit de verkleining van de tumoren werd het radiobiologisch effect van de neutronenbestraling berekend.

## Gevaarlijke rust

Radiotherapeuten uit de kliniek huldigden lange tijd de opvatting dat de niet-delende cellen uit een tumor — die toch niet deelnemen aan de tumorgroei en dus minder stralingsgevoelig zijn — daarmee ook ongevaarlijk zouden zijn. De radiobiologen uit het laboratorium waren daarentegen niet zo gerust over de ongevaarlijkheid van de niet-delende cellen, en ze kregen daarin gelijk. Het proces van de celdeling kon inmiddels in het laboratorium onder de microscoop goed worden gevolgd. Met behulp van radioactieve merktekens, die werden ingebouwd in het kernmateriaal van de delende tumorcellen, kon op fotografische wijze het gehele celdelingsproces zichtbaar worden gemaakt, zowel voor als na bestraling van de

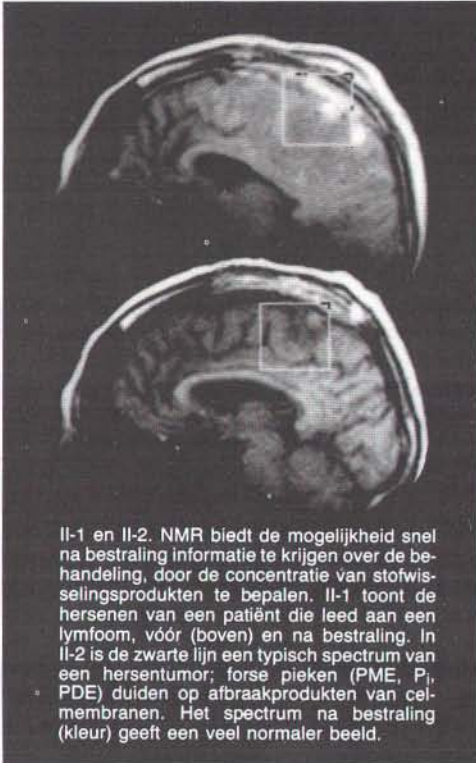


8

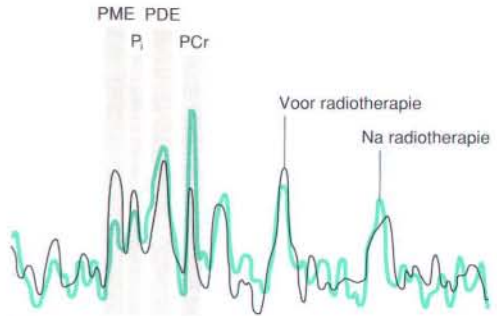
8. Een patiënte ligt onder een versneller. Ze wordt bestraald met energierijke straling, die diep in het li-

chaam doordringt en daarbij de huid en ondiep gelegen weefsels vrijwel ongemoeid laat.





II-2



II-1

Indien het radiobiologische effect op een tumor kleiner is dan 2,5 – en dus geringer is dan wat voor gezonde weefsels valt te verwachten – heeft neutronenbestraling weinig zin. Dit bleek bij de snelgroeiende, zeer stralingsgevoelige tumoren het geval te zijn; dus kwamen die niet voor neutronenbestraling in aanmerking. De langzaam groeiende, weinig stralingsgevoelige tumoren waren wel geschikt om neutronenbestraling op te beproeven.

Door een goede selectie van tumoren van tevoren krijgt een nieuwe vorm van therapie een faaire kans. Zonder deze selectie kan een nieuwe therapie ten onrechte worden afgewezen, omdat hij is uitgetoetst op de verkeerde soort tumor. Bovendien betekent dat voor de betrokken patiënten een onnodige belasting en extra teleurstelling en verdriet.

proefdiertumoren. Uit deze waarnemingen bleek dat na de bestraling een groter aantal cellen aan de deling deelnam dan voordien. Na de bestraling was het percentage delende cellen duidelijk toegenomen.

Deze resultaten verontrustten de radiotherapeuten uit de kliniek zeer en dat bracht een aantal van hen over de drempel van het radiobiologisch laboratorium. Immers, als onder invloed van de bestraling niet-delende cellen opnieuw gingen delen, kon een bestraalde tumor opnieuw de kop opsteken, waardoor op zijn minst een deel van het bestralingseffect verloren zou gaan.

In de kliniek wordt radiotherapeutische behandeling bijna altijd over een serie bestralingszittingen uitgestreken. Men weet uit ervaring dat tijdens meerdere sessies te zamen we-

liswaar een hogere dosis moet worden gegeven dan wanneer eenmalig wordt bestraald, maar het herstelvermogen van de gezonde, meebestraalde weefsels is groter door de lagere dosis per sessie.

De werkwijze in het laboratorium is echter anders dan die in de kliniek: in het laboratorium wordt in plaats van een reeks bestralingen met elke een lage dosis, bijna altijd een éénmalige bestraling toegepast. Bij de tumoren van kleine proefdieren is het namelijk niet eenvoudig om bestraling in fracties toe te dienen. Een groot deel van de gezonde weefsels van het proefdier is in de bestralingsbundel gelegen; dat heeft effect op een relatief groot gebied van omliggend gezond weefsel, waardoor de effecten van de bestraling op de proefdiertumor ernstig worden verstoord.

### Metingen in de kliniek

Om aansluiting te vinden bij het onderzoek in het laboratorium was het daarom nodig ook in de kliniek éénmalige bestraling toe te dienen en de effecten daarvan te meten, bijvoorbeeld aan de hand van uitzaaiingen in de longen, omdat die op röntgenfoto's goed kunnen worden vastgelegd. Een aantal patiënten gaf toestemming voor éénmalige bestraling op één of meerdere longuitzaaiingen.

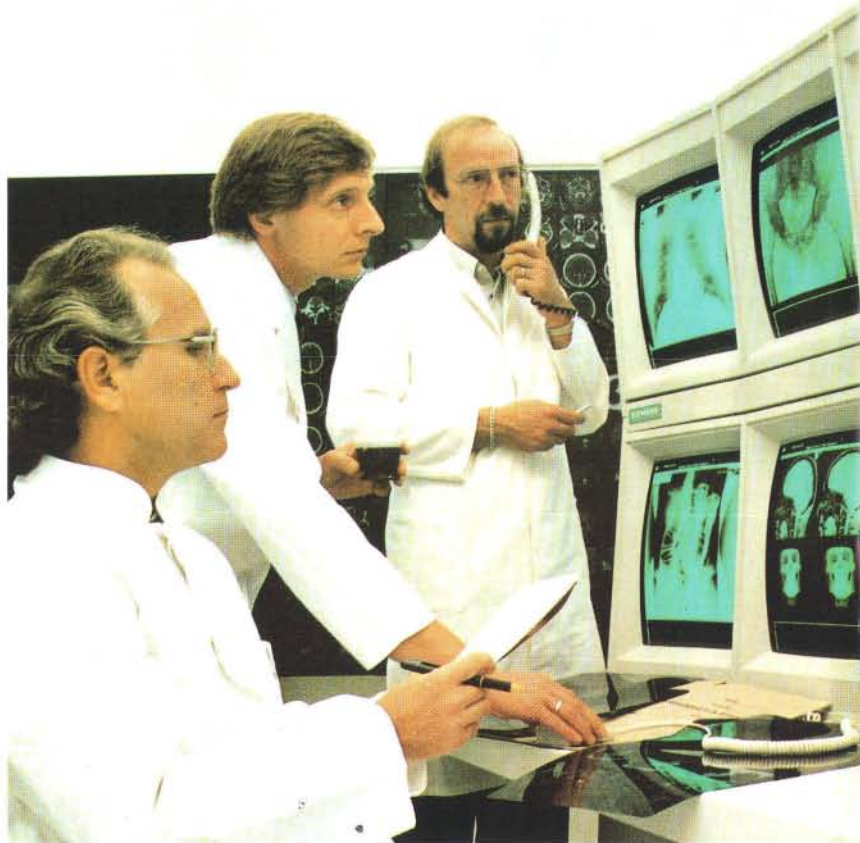
Vóór de éénmalige bestraling werd de groeisnelheid van de uitzaaiing gemeten en ook daarna werden de metingen voortgezet. Het bleek dat de tumor eerst slonk tot een minimumgrootte, afhankelijk van de toegediende dosis. Maar daarna ging de tumor weer groeien en wel met een groeisnelheid die aanvankelijk groter was dan vóór de bestraling. Tenslotte liep de groeisnelheid weer geleidelijk

terug naar die van de oorspronkelijke situatie. Ook bij menselijke tumoren mogen we blijkbaar aannemen dat na de bestraling het aantal delende cellen tijdelijk in omvang toeneemt.

De kans op genezing hangt niet alleen af van de stralingsgevoeligheid van een tumor, maar ook van het volume van de tumor. Al heel lang was bekend dat een kleine tumor gemakkelijker tot verdwijning was te brengen dan een grote tumor. Ook hier gaf het radiobiologisch onderzoek de sleutel tot nader begrip.

Uit experimenten met celkweken bleek dat bij herhaalde bestraling telkens eenzelfde percentage van de cellen werd gedood. Als men bij menselijke tumoren eenzelfde effect mag verwachten en als men uit de groeisnelheid van de tumor de stralingsgevoeligheid kan afleiden, kan men uitrekenen welke bestralingsdosis in staat zou moeten zijn de tumor te vernietigen zonder dat de gezonde omringende weef-

9. Om een kankerpatiënt succesvol te kunnen behandelen is het nodig precies te weten waar de tumor zich bevindt en of er uitzaaiingen zijn. Gelukkig komt er steeds meer apparatuur beschikbaar, die artsen in staat stelt het lichaam nauwkeurig onder de loep te nemen, zodat zij op basis van uitgebreide gegevens beslissingen kunnen nemen.





sels onherstelbaar worden geschaad. Deze dosis bleek ontoereikend om tumoren met een groot volume te vernietigen.

Een belangrijke verklaring hiervoor is dat in grote tumoren de cellen niet optimaal van zuurstof en voeding worden voorzien, doordat het bloedvatsysteem ter plaatse niet voldoende kan functioneren. Uit het laboratorium is bekend dat een omgeving die arm is aan voeding en zuurstof tumorcellen minder gevoelig maakt voor bestraling.

Uit de praktijk was al bekend dat grote, weinig stralingsgevoelige tumoren niet zo geschikt zijn voor bestralingsbehandeling; ze worden bij voorkeur chirurgisch behandeld. Nu werd ook begrijpelijk dat bestraling na een operatie, waarbij de tumor niet geheel kon worden verwijderd, zo weinig effectief is. Weliswaar is het volume van de resterende tumor aanzienlijk verkleind, maar de verstoring van de vaten

maakt de resterende cellen nog minder stralingsgevoelig; en het pas geopereerde gebied verdraagt een extra hoge dosis niet.

### Theorie, de bloem der praktijk

Al vijftientig jaar lang wordt er intensief onderzoek verricht naar de oorzaken die normale gezonde cellen doen veranderen in de noodlottige, kwaadaardige cellen. Een kwaadaardige aandoening zoals kanker is evenwel niet één ziekte, maar een verzameling van zeer uiteenlopende ziekten, ontstaan door verschillende oorzaken. Het ligt niet in de verwachting dat daarvoor één therapie wordt ontdekt. Het onderzoek op celniveau heeft een aantal bouwstenen aangedragen tot het oplossen van dit grote probleem. Het is van het allergrootste belang dat dit fundamenteel onderzoek zonder belemmering kan worden voortgezet. Juist bij fundamenteel onderzoek valt vaak niet te voorspellen wat veel later toch de maatschappelijke waarde zal zijn.

Creatieve mensen zullen theorieën poneren die in het laboratorium experimenteel worden getoetst. De resultaten daarvan kunnen wellicht tot een beter begrip leiden van wat in de praktijk aan ervaring is opgedaan, en tot het vinden van nieuwe oplossingen. Zoals de Duitse filosoof Feuchtersleben beweert: de theorie is niet de wortel, maar de bloem der praktijk.

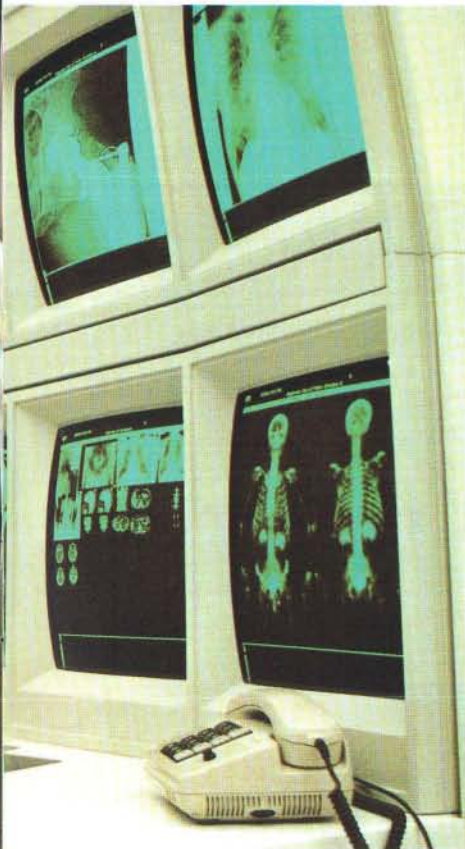
Dit is een bewerkte versie van de rede die de auteur heeft uitgesproken bij haar aanvaarding van het ambt van hoogleraar in de theoretische aspecten van radiotherapie aan de faculteit der Geneeskunde van de Rijksuniversiteit te Utrecht.

### Literatuur

- Fast JD. Energie uit atoomkernen. Maastricht: Natuur & Techniek, 1980.  
 Sluysen M. Chemotherapie van kanker. *Natuur & Techniek* 1987; 55: 9, 763-773.  
 Luyten PR. NMR aan celprocessen. *Natuur & Techniek* 1988; 56: 9, 746-757.

### Bronvermelding illustraties

- SPL/Joël, Amsterdam: 648-649, 5  
 Deutsches Museum, München: 1  
 Commissariat à l'Energie Atomique, Parijs: 2  
 Du Pont de Nemours International SA, Genève, CH: 3  
 F.W. Smith en P.F. Sharp, Aberdeen, UK: 4  
 Siemens Nederland NV, Den Haag: 6, 7, 8 en 9  
 Philips Medical Systems Nederland BV, Best: II-1



# ANALYSE & KATALYSE

INTEGRATIE VAN WETENSCHAP EN TECHNOLOGIE IN DE SAMENLEVING

Onder redactie van ir. S. Rozendaal.

De moderne natuurwetenschapper bedrijft een schaamteloos beroep, dat iedere vorm van ethisch bewustzijn ontbeert. Wetenschap is geworden tot economisch handelen. De wetenschapper moet opnieuw betrokken worden bij de wereld. Dat kan het beste door middel van literatuur. Aldus de boodschap van dr. André Klukhuhn, hoofd Studium Generale van de Rijksuniversiteit Utrecht, in zijn boek *De hypothese van het heden*.

Het boek barst van de citaten, en bestrijkt een scala van de Oude Grieken tot moderne literatoren als Gerrit Krol. Zelfs de titel is ontleend aan een citaat en wel uit Robert Musil's *De man zonder eigenschappen*. "Alles bevindt zich in een onzichtbaar maar nooit rustend veranderingsproces, in het onstabiele ligt meer van de toekomst dan in het stabiele, en het heden is niets meer dan een hypothese die nog niet is overwonnen", aldus Musil. André Klukhuhn licht zijn titelkeuze toe: "De wetenschapsbeoefening begon mis te gaan tijdens de Verlichting. De twee kenwijzen van de werkelijkheid, het zien en het zijn, of de wetenschap en de kunst zijn sindsdien uit elkaar gaan lopen. Er ontstaat een vrij schaamteloos soort wetenschap die geen betrokkenheid meer heeft met de wereld. Die is nodig om te weten waar je mee bezig bent. Als gevolg hiervan dreigt er in de huidige tijd van alles met de wereld mis te gaan. In de tijd die ons nog rest tot de apocalyps zal daarom alles op alles moeten worden gezet om

## PLEIDOOI

## VOOR EEN POSTMODERNE WETENSCHAP

Peter de Jaeger

een ethiek te ontwikkelen waarbinnen de wetenschap voortgang kan vinden zonder catastrofale gevolgen. Een aanzet tot een dergelijke ethiek of nieuwe moraal is te vinden in het boek van Musil."

### Voorbode van het einde

Tot de Verlichting waren kunst en wetenschap nauw met elkaar verbonden. Onder kunst en wetenschap werd toen trouwens iets anders verstaan als nu. De drie wijsheden (de ethica, de logica en de fysica) bepaalden het gezicht van de filosofie. Vanuit die drieëenheid stroomde de wijsheid naar de zeven kunsten: astronomie, geometrie, arithmetica, harmonieleer en de drie taalkundige kunsten grammatica, rhetorica en dialectica. Wat we nu kunst noemen is beeldende, ambachtelijke kunst en staat los van de wetenschap.

In zijn boek geeft Klukhuhn aan dat er bij kunstenaars vaak iets gebeurt wat ze niet kunnen verklaren. Ze maken iets en kijken achteraf met verbazing naar hun produkt. Zij hebben hun eigen geest niet in de hand, maar maken





deel uit van iets waar ze instrument van zijn. Ze zijn één met hun omgeving. Een karikatuur hiervan wordt volgens Klukhuhn geleverd door *De prententoonstelling* van M.C. Escher. Op deze ets kijkt een jongeman naar een schilderij van een havengezicht. Bij nadere bestudering blijkt de galerij waar hij staat deel van de haven. Dus de man kijkt naar een wereld waar hij zelf deel van uitmaakt. "Een ultieme symbiose van het zien en het zijn", aldus Klukhuhn.

Een groot verschil met de moderne wetenschap die zich

volgens Klukhuhn niet in, maar tegenover de wereld opstelt. De wetenschapper kan heel wat opsteken van de kunstenaar. De wetenschap is volgens Klukhuhn aan alle kanten vervallen in absurditeiten. In zijn boek somt hij allerlei voorbeelden op van excessen die een spin-off zijn van de moderne wetenschap. Zoals de bewapeningswedloop ("We kunnen nu nog dertigduizend jaar oorlog voeren op de schaal van de Tweede Wereldoorlog") en het recombinant DNA-onderzoek, waarbij volgens hem

kleine systemen kan worden ingegrepen in de natuur. En door de overgang van katholicisme naar protestantisme mag je opeens aan de wereld zitten. Je mag de aarde inrichten zoals je wilt. Typerend is bijvoorbeeld het ontstaan van de bekende geometrische tuinen. Voor die tijd liet men de natuur gewoon zijn gang gaan."

"De Griekse en de Chinese wetenschap daarentegen zijn beschouwend. Zo zit de wereld in elkaar en daar kun je naar kijken en van genieten, maar je moet er niet in gaan rommelen. Experimenteren op basis van kleine, geïsoleerde systemen in extreme omstandigheden is een burgerlijke wetenschap. Mensen ontdekken dat je geld kunt verdienen met wetenschap. Wetenschap wordt handelswaar. Om die reden ontstaan er veel ontdekkingen waar we niet om zaten te springen."

### André Klukhuhn pleit voor een verplichte literatuurlijst voor natuurwetenschappers

André Klukhuhn  
(foto: Maarten  
Hartman, Utrecht)

dingen gebeuren waarvan je de haren te berge rijzen. "Er worden al gerecombineerde virussen losgelaten zonder dat ook maar ten naaste bekend is wat de gevolgen daarvan kunnen zijn", schrijft hij. En in de medische wetenschap wordt er bij in-vitro-fertilisaties geknoeid met leven en zit de mens op de stoel van God. Om nog maar te zwijgen over de miljoenen wetenschappelijke publikaties die jaarlijks worden geproduceerd en door vrijwel niemand worden gelezen. Allemaal uitwassen die in Klukhuhn's ogen een voorbode zijn van het einde van de moderne wetenschap en een ontstaansvoorwaarde vormen voor de postmoderne wetenschap.

*In uw boek spreekt u over de crisis van de moraal. Hoe is die crisis te verklaren?*

"In de Verlichting komen een aantal dingen bij elkaar. De wetenschap wordt geformaliseerd en experimenten doen hun intrede. In geïsoleerde

### Kleurentelevisie

Op de constatering dat er toch ook veel goede dingen zijn ontwikkeld, haalt hij de strijd aan tussen Goethe en Newton. Goethe verwijt Newton dat hij de natuur op de pijnbank heeft gemarteld om antwoorden te krijgen die hij wilde horen. En Hermans, door Klukhuhn de laatste nog levende superrationalist genoemd, zegt dan: als we Goethe zijn zin hadden gegeven, hadden we nu geen kleurentelevisie, geen telefoon en geen lasers. Klukhuhn zelf treedt op als scheidsrechter en stelt beiden in het gelijk. "Newton heeft wetenschappelijk gelijk en Goethe heeft ethisch gelijk met het op literaire wijze aan de kaak stellen van Newtons schaamteloze wetenschap. En als we Goethe wat ernstiger hadden genomen dan zouden we nu natuurlijk wel kleuren-



fotografie en televisie hebben, maar geen kernwapens, geen recombinant-DNA-technieken en geen tot op het breekpunt geteisterd milieu."

Klukhuhn: "Ethisch handelen is beslist geen synoniem voor niets doen. Cruciaal in mijn boek is het stuk over Heroon. De Alexandrijnen, die honderd jaar na Christus in Egypte leefden, beschikten over de technologische kennis om een wetenschappelijke en industriële revolutie op gang te brengen. Zij kenden al de hevel, de wig, de schroef en de stoommachine. De stoommachine hanteerden ze voor het openen en sluiten van tempeldeuren. Dat was uitsluitend bedoeld om de mensen die buiten stonden te imponeren via magie. Ingewikkelde systemen van poppenspelen gebeurden ook met behulp van stoom, die zorgde voor steeds veranderende *tableaux vivants*. Men bezat de technologische kennis om een industriële revolutie in gang te zetten maar deed dat niet. En waarom, omdat zij vonden dat je met je vingers van de natuur moet afblijven. Dat ethisch uitgangspunt vind je ook bij de Chinezen terug. Zonder dat uitgangspunt komt een proces op gang waarvan je achteraf afvraagt hoe dat tegen te houden is."

*Dus u pleit voor een pas op de plaats, een periode van bezinning?*

"Ja, beslist. Willen we wat nog rest van de wereld en de menselijke samenleving voor onszelf en latere generaties in een min of meer leefbare toestand houden, dan is het zaak om de veel te snelle, te omvangrijke en oncontroleerbare ontwikkelingen op wetenschappelijk, technisch, economisch en wat voor gebied al nog meer, voorlopig tot staan te brengen, ons eindelijk weer



eens rond het haardvuur te scharen en te luisteren naar de grote vertellingen die in het verleden zijn begonnen en die thans allemaal op hun ontknoping wachten. Dan kunnen we mogelijk proberen ze in de praktijk niet slechter af te laten lopen dan nodig is en misschien nog op tijd beginnen aan een lange periode van voorzichtig herstel."

#### Echoput

Het imago van de wetenschap is volgens Klukhuhn nodig aan herziening toe. "Het diepgewortelde beeld van de

wetenschap als probleemoplosser gaat al lang niet meer op", meent Klukhuhn. "Men blijft in de auto rijden, omdat de wetenschap het broeikas-effect wel onder de knie zal krijgen. Terwijl de wetenschap juist meer en meer gegevens aandraagt over het gat in de ozonlaag, zure regen, enzovoort. De postmoderne wetenschap dient een reflectie te zijn van de moderne wetenschap die op zijn eind loopt." "De geschiedenis is een palimpsest. Een perkamentrol die je steeds schoon krabt om opnieuw te beschrijven. Een echoput, je krijgt terug wat je



De Prenten-  
tentoonstelling  
(© M.C. Escher  
Heirs/Cordon Art,  
Baarn)



**"Weinig weten van een heleboel  
is zeker zo zinvol als een heleboel  
weten van bijna niets"**

erin roept. Er zijn geen absolute waarheden. Je moet in iedere tijd keuzes maken voor bepaalde waarheden van die tijd. Die zijn niet absoluut en eeuwig, maar betrekkelijk en tijdelijk. En daarmee ga je aan het werk."

*Hoe ziet de wetenschap in de postmoderne tijd eruit?*

"Er moet een wetenschap komen die de wereld ontziet.

Daarvoor is een betrokkenheid met de wereld nodig. En die haal je uit de kunst. Dat is de intellectuele activiteit bij uitstek waarin de betrokkenheid met de wereld wordt geuit. Die komt er hoofdzakelijk op neer wat Wittgenstein al zei: "Je kunt er niets over zeggen, dat moet zich tonen". Alleen kunstenaars zijn daartoe in staat. Niet met argumenten, maar met gevoelige beelden. Als een planoloog bij een wegaanleg moet overwegen om honderd jaar oude eiken die daar staan al dan niet om te hakken, dan kan hij daar geen rationeel argument voor bedenken. De economische waarde van eikehout is nu eenmaal niet te vergelijken met die van de weg. Eeuwenoude eiken omhakken raakt je in je hart en doe je gewoon niet om gevoelsredenen. Maar dat gevoel moet wel worden gevoeld." Die betrokkenheid met de wereld zou de natuurwetenschapper vooral moeten halen uit de literatuur, aldus Klukhuhn. "De wetenschapper is talig van karakter. Hij denkt en schrijft in taal. Het lijkt mij veel moeilijker om het via muziek te bereiken. Wat dat

toegankelijke kunstvorm voor wetenschappers."

Aan het eind van zijn boek pleit Klukhuhn tot het instellen van een soort verplichte literatuurlijst voor natuurwetenschappers. Dit literatuur-tentamen, dat een even groot gewicht zou moeten krijgen in het onderwijs als de harde vakinformatie, zou moeten worden afgerond met een soort eed, vergelijkbaar met Hippocrates' beroepseed voor aanstaande artsen. In de postmoderne woorden van Klukhuhn zou die eed als volgt luiden: "Ik beloof plechtig bij alles wat mij dierbaar is, dat ik de kennis die ik verworven heb niet ten dienste zal stellen van het ontwikkelen van materialen en methoden die de wereld zouden kunnen veranderen in de droge hete atmosfeerloze kei van Feyerabend, waar niemand die zijn gezonde verstand een beetje gebruikt naar toe zou willen." Klukhuhn is de verpersoonlijking van deze boodschap. Hij gaf bijna twintig jaar geleden de brui aan zijn wetenschappelijke onderzoekscarrière omdat hij ontdekte dat zijn werk voor het merendeel voor militaire doeleinden werd gebruikt. Als chemicus deed hij onderzoek naar infraroodstraling. "Circa zeventig procent van het infraroodonderzoek had destijds te maken met defensie. Daarom ben ik eruit gestapt. Ik wilde geen bijdrage leveren aan Star Wars", zegt hij nu. Hij is gaan nadenken over zijn broodwinning en verdient daar nu zijn kost mee als hoofd van de Studium Generale van de Utrechtse universiteit.

**Professor Buck**

De hypothese van het heden is een manifestatie van zijn eigen opvatting. Klukhuhn wil met dit boek tevens een lans



breken voor de generalisten, de breed opgeleide wetenschappers. "Weinig weten van een heleboel is zeker net zo zinvol als een heleboel weten van bijna niets. Generalisten kunnen een hele belangrijke rol in de wetenschappelijke wereld spelen. Zij moeten in dialoog kunnen treden met hun wereldvreemde collega's die hun lab niet uitkomen. Zo had ik kunnen voorkomen dat professor Buck in april op televisie kwam als de grote genezer van deze eeuw. Iemand had hem duidelijk moeten maken dat wetenschappers vaker voor hun beurt juichen. Daarvoor moet je wetenschapshistorisch en -filosofisch gevormd zijn en

hoef je absoluut geen detailkennis te hebben. Want met zulk soort onderzoeken gaat het altijd zo."

Wetenschappers komen volgens Klukhuhn bovendien om de verkeerde redenen naar buiten met hun ontdekkingen. "Winstbejag staat altijd bovenaan. De ontwikkeling van koude kernfusie bijvoorbeeld stond eerst uitgebreid in allerlei financieel-economische tijdschriften, voordat de wetenschappelijke collega's werden ingelicht. Er worden eerst claims gelegd en patenten aangevraagd. Er wordt geen wetenschap meer bedreven, maar economie."

Over het vooruitgangsgeloof in de wetenschap heeft Kluk-

huhn eveneens de nodige twijfels. De feitelijke kennis is gegroeid, maar op het gebied van de beschouwingen, dus de kennis van het zijn, zijn we volgens Klukhuhn niet verder gekomen dan Plato. Hij gebruikt hiervoor het volgende beeld: "Je bent op reis en probeert de horizon te bereiken. Die bereik je natuurlijk nooit. Wat je wel leert is het landschap van het gebied waardoor je loopt steeds beter in kaart te brengen. De landkaart wordt steeds beter, maar de horizon komt geen stap dichterbij. De Grieken konden elkaar niet opbellen, wij wel. Dat is een vooruitgang."

## SOCJALIZMU JUZ NIE MA, POZOSTAL SMOG

(HET SOCIALISME IS WEG, MAAR DE SMOG IS GEBLEVEN)

Simon Rozendaal

Met de politieke omwentelingen in Oost-Europa ontstaat zo langzamerhand ook openheid over de milieu-situatie in die landen. In veel Oost-Europese landen was er een besef dat het met de gezondheid van de mensen en van de natuur niet zo best was gesteld, maar er kon niet vrij over worden gepraat en geschreven. Wetenschapsmensen waren weliswaar soms enigszins op de hoogte, maar zij konden nauwelijks kond doen van hun bevindingen. De Tsjechische milieu-minister Bedrich Moldan bijvoorbeeld, werkte aan het begin van de jaren tachtig in Praag als bioloog mee aan een studie

van de Unesco (de Verenigde Naties) over vervuiling in Europa. Moldan: "In 1984 wilde ik een hoofdstuk publiceren in een wetenschappelijke studie van de Unesco. Mijn deel ging over de nitraatconcentraties in een Tsjechische rivier. Alleen maar cijfers, geen enkele politieke uitspraak over het Tsjechische systeem. Voor die publikatie echter moest ik toestemming hebben van de directeur van mijn onderzoeksinstituut. Die vroeg het aan de geheime politie en die verbood het. Zo ging het."

Met de val van het communisme in de meeste Oostbloklanden is echter ook de ge-

heimhouding verdwenen. Kranten en weekbladen maken aan de lopende band melding van de milieuramp. Wie rond Pinksteren door het Tirol-achtige berggebied nabij het Tsjechisch-Duits-Poolse drielandpunt reed, zag daar in de krantenkiosken bijvoorbeeld de *Nowiny Jeleniogorsky*, het weekblad voor de Poolse stad Jelenia Gora en omstreken. Op de omslag prijkte een foto van een dood bos en de tekst *Socjalizmu juz nie ma, pozostal smog*. Ofwel, het socialisme is weg, maar de smog is overgebleven. Binnenin het tijdschrift stonden diverse artikelen over de milieuramp in Oost-Europa.

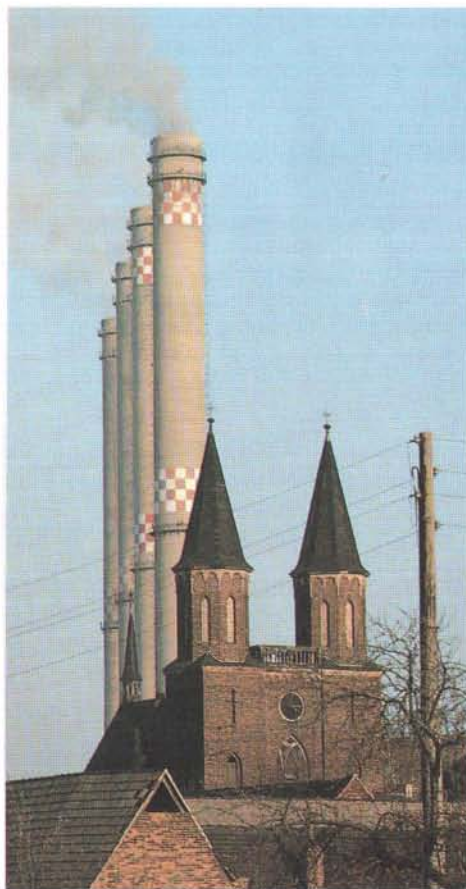


**Ecologische verbetering**

Het milieu in Oost-Europa is er veel slechter aan toe dan dat in het Westen. PvdA-milieudeputeerde van de provincie Zuid-Holland, Hans van der Vlist, heeft zich de laatste tijd verdiept in de milieuproblemen van de Tsjechische streek Noord-Bohemen en probeert een hulpprogramma vanuit de Rijnmond op te zetten. Van der Vlist: "Het is erger dan het ooit bij ons is geweest. Zij zitten met een enorme luchtvervuiling. Wij hebben die inmiddels al opgelost en buigen ons nu over zaken als bodemvervuiling. Die hebben zij ook, veel erger dan wij, maar voorlopig hebben ze hun handen nog vol aan de luchtvervuiling. Wellicht dat wij met onze ervaringen hoe wij de luchtvervuiling in de Rijnmond hebben aangepakt, hen enigszins kunnen helpen." De Amsterdamse hoogleraar milieukunde Egbert Tellegen: "In het Westen heeft de afgelopen decennia een enorme ecologische verbetering plaatsgehad. Dat realiseer je je heel goed wanneer je rondreist in Oost-Europa. Dat hele proces moeten zij nog doormaken."

Dat valt goed te zien aan zwaveldioxyde. Zwaveldioxyde vormt in een bepaald opzicht een primitief milieuprobleem. Zwaveldioxyde ontstaat bij veel verbrandingsprocessen. Nogal wat brandstoffen bevatten zwavel (S), die bij verbranding (blootstelling aan zuurstof -  $O_2$  - bij hogere temperaturen) overgaat in zwaveldioxyde,  $SO_2$ . Die zwaveldioxyde speelt een belangrijke rol bij het ontstaan van zure regen, die de natuur, gebouwen, oude geschriften en de menselijke gezondheid aantast.

De ontwikkelde, geïndustrialiseerde landen hebben het



De luchtvervuiling in Oost-Europa heeft schrikbarende vormen aangenomen. Hier de bruinkoolcentrale Vorderoka in de DDR (foto: Michiel Wijnbergh, Driebergen)

$SO_2$ -probleem al grotendeels opgelost. Ze zijn overgeschakeld op 'schone' brandstoffen die weinig tot geen zwavel bevatten, zoals aardgas. Ook hebben ze technieken ontwikkeld om de restanten zwaveldioxyde uit schoorsteengassen te verwijderen. De ontzwavelingsinstallaties die in navolging van Japan sinds ongeveer vijftien jaar bij de meeste conventionele elektriciteitscentrales zijn gebouwd, vormen hier een voorbeeld van. Feitelijk is ook de driewegkatalysator in de uitlaat van een auto - een Amerikaanse maatregel die door Europa is overgenomen - zo'n aanpak. In veel Westerse landen heeft

men het tegenwoordig dan ook over heel andere problemen wanneer men zich zorgen maakt over Het Milieu. Dat betreft bij ons de kans dat kooldioxyde en andere broeikasgassen het klimaat op aarde beïnvloeden, de angst dat CFK's een gat in de ozonlaag veroorzaken en de gevaren van uiterst kleine en eigenlijk nauwelijks meetbare concentraties giftige stoffen (dioxine in de schoorstenen van verbrandingsovens, bentazon en andere bestrijdingsmiddelen in het drinkwater).

In Oost-Europa heeft men absoluut de tijd niet om zich zorgen te maken over dergelijke, als luxe ervaren, milieu-



problemen. Daar is de luchtvervuiling zo erg dat de bossen echt doodgaan, en dat niet alleen; ook de mensen gaan in Oost-Europa nog echt dood aan milieuvervuiling. Wojciech Beblo, een in het Westen opgeleide natuurkundige die in de Poolse milieubeweging actief is: "Jullie hebben het in het Westen over het dioxine-probleem. Dat bestaat bij ons niet. Niet dat wij geen dioxine-vervuiling zouden hebben. Nee, integendeel, waarschijnlijk meer dan in het Westen. Wij hebben echter absoluut de apparatuur niet om dioxine te meten en dus hebben wij geen dioxine-probleem."

#### Sinterklaas

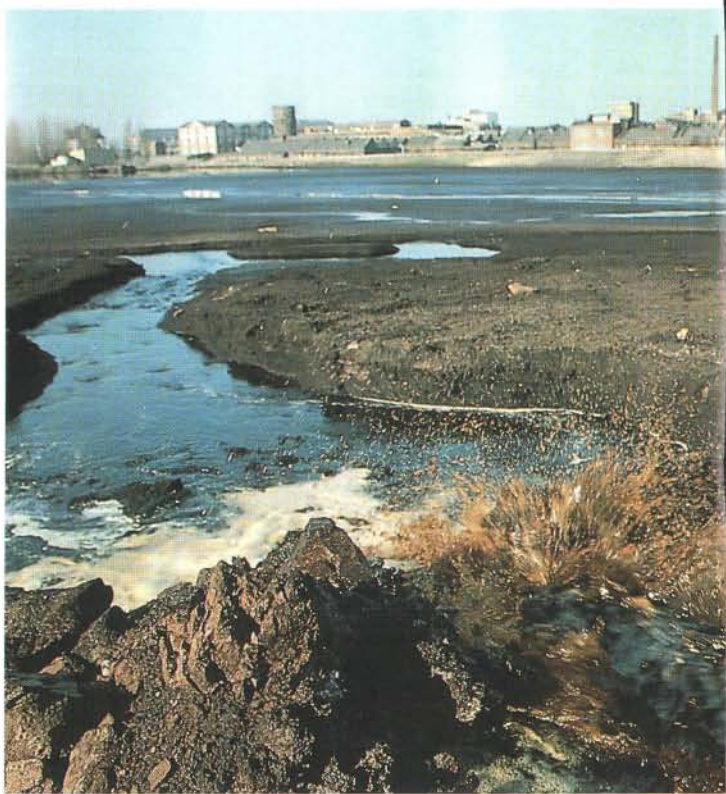
Zwaveldioxyde is altijd het vervuilingsprobleem bij uitsteking geweest. Met de term smog (de samentrekking van *smoke* en *fog*) werd destijds vooral  $\text{SO}_2$  bedoeld, dat bij de verbranding van steenkool in de Engelse fabrieken en huizen vrij kwam en vooral in mistige condities gezondheidsproblemen veroorzaakte. Zo overleden rond Sinterklaas 1952 in Londen, binnen een tijdsbestek van enkele weken, ongeveer vierduizend mensen meer dan men in dat jaargetij kon verwachten. De oorzaak: zwaveldioxyde-concentraties van duizend tot vierduizend microgram per kubieke meter lucht. Die concentraties haalt men in West-Europa bij lange na niet meer. Tijdens de ergste Nederlandse smog van de jaren tachtig, begin 1987, was de concentratie in Limburg (toen de meest getroffen provincie) tussen de 300 en 500 microgram per kubieke meter. Voor veel gebieden in Oost-Europa zijn dergelijke uitschieters waarden die men dag in dag uit ervaart en lig-

gen de uitschieters daar nog op het niveau van Londen, Sinterklaas 1952. Per hoofd van de bevolking produceert de Nederlander nog geen tien procent van de zwaveldioxyde die een Oosteuropiaan uitstoot. Nederland produceert jaarlijks ongeveer 150.000 ton zwaveldioxyde, evenveel als de gemiddelde uitstoot van één elektriciteitscentrale in Oost-Europa. Sommige, zoals die in de Poolse stad Bekhatow, walmen in hun eentje zelfs een half miljoen ton uit. Zwaveldioxyde is echter slechts het grootste maar zeker niet het enige vervuilingsprobleem in Oost-Europa. Professor Maria Guminska, hoogleraar medische biochemie in Krakow: " $\text{SO}_2$  is het bekendste vervuilingsprobleem in Oost-Europa, maar

we hebben alles wat het Westen ook heeft en dan nog een orde van grootte erger."

#### Kinderen

Een belangrijk verschil met het Westen is dat de Oosteuropese milieuvervuiling vooral door een achterlijke economie wordt veroorzaakt. In Oost-Europa worden brandstoffen met hoge zwavelgehaltes (ligniet, bruinkool en steenkool) gedolven en verstoekt en de fabrieken passen principes toe die in het Westen al lang zijn verlaten. De meeste Westeuropese hoogovens passen bijvoorbeeld het minder vervuilende en moderner oystaal-proces toe, terwijl men aan de andere kant van het voormalige IJzeren Gordijn nog met het





openhaard proces (in jargon: Siemens-Martin) werkt.

De Amsterdamse hoogleraar milieukunde Egbert Tellegen: "Het is een tikje gechargeerd maar je zou kunnen zeggen dat de Westerse milieuproblemen het gevolg zijn van een economie die het te goed doet, terwijl de Oosteuropese problemen worden veroorzaakt door een falende economie. Bij ons hebben te veel mensen te veel auto's en ze rijden er te veel mee; daar hebben ze fabrieken die niet deugen, een stadium dat wij al hebben gehad. Dat is in beleidsmatig opzicht ook het makkelijkste van de Oosteuro-

pese milieuproblemen. Met betrekkelijk weinig ingrepen kan men daar een hoop tot stand brengen. Westerse schone technologie kan daar wonderen verrichten."

Vooralsnog is het Oosteuropese milieu er echter beroerd aan toe. De bossterfte in het grensgebied van Polen, Tsjechoslowakije en Oost-Duitsland is immens. Terwijl in Nederland slechts een geschoolde bioloog kan constateren dat sommige bomen er slechter aan toe zijn dan vroeger, ziet in Oost-Europa zelfs een visueel zwaar gehandicapte leek dat veel bomen morsdood zijn.

In Chorzow sterven veertig op de duizend kinderen binnen het eerste levensjaar tegen zeven in Nederland en achttien in de rest van Polen. Prof Maria Guminska: "Nu al gaat de Poolse man zes tot acht jaar eerder dood dan gemiddeld in de Westerse landen. Dan hebben we het over mannen die een belangrijk deel van hun leven opgroeiden temidden van betrekkelijk weinig vervuiling. Hoe moet dat straks met de generatie die nu opgroeit?" Zij wijst er op dat de gemiddelde leeftijd die mannen in Krakow bereiken maar 58 jaar is (tegen 71 in Nederland) en dat in Nowa Hute, de voorstad van Krakow die een immens fabriekscomplex herbergt, slechts een kwart van de mannen ouder dan 65 wordt.

Wie eenmaal de milieu-ellen-de in Oost-Europa heeft aanschouwd, komt tot de conclusie dat Nederlanders – zelfs al wonen ze in Spijkenisse of Velsen – in een hof van Eden leven en dat zolang het daar zo erg is, we in Nederland met heel veel voorzichtigheid over Nederlandse milieuproblemen moeten praten. De Nederlandse milieu-minister Hans Alders wijst die houding echter van de hand: "De milieuproblemen in Oost-Europa mogen geen excuus vormen om in Nederland pas op de plaats te maken. Wij kunnen pas echt een beroep op andere landen doen hun problemen op te lossen, als we zelf het goede voorbeeld geven."

## Het milieu in Oost Europa is er veel slechter aan toe dan dat in het Westen

Oosteuropese fabrieken lozen hun afval eenvoudig op het oppervlaktewater (foto: Michiel Wijnbergh, Driebergen)

Daarnaast is er ook veel gezondheidsschade. Dertig procent van alle schoolgaande kinderen, zo vertelt Jan Gruszczyński, de directeur van de kinderkliniek in de Poolse stad Chorzow, heeft aandoeningen van de luchtwegen als chronische bronchitis en astma. Vijfenzestig procent van alle schoolgaande kinderen in het district Chorzow is minimaal twee keer per jaar ziek. "Dat is meer dan in alle districten in Polen". Op de vraag wat hij kan doen, grinnikt Gruszczyński beschaamd: "Niet zo gek veel. We hebben wel enkele geneesmiddelen maar antibiotica moeten de ouders zelf betalen en dat is in Polen voor de meeste mensen niet te doen. We houden ze hier een dag of tien, proberen ze redelijk te eten te geven en sturen ze terug." In het verleden konden de kinderen nog wel eens met zomerkamp in een andere stad, maar daar is nu geen geld meer voor.

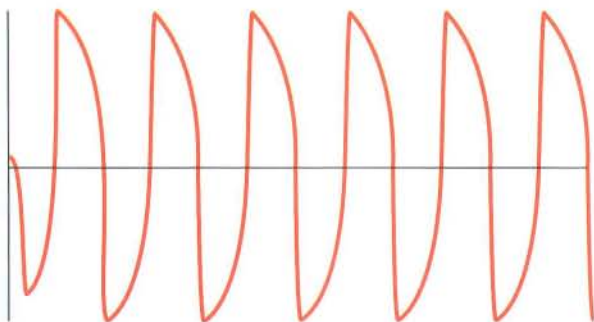


# SIMULATICA

Prof dr  
H. Lauwerier

## Relaxatie-trillingen

Allerlei trillingsverschijnselen in de natuurwetenschappen kunnen op uiteenlopende wijzen worden gemodelleerd. Het eenvoudigste model is de harmonische trilling, die eendimensionaal kan worden beschreven door  $u = a \cos \sigma t$ . We kunnen  $u$  opvatten als de uitwijking van een deeltje en  $t$  als de tijd in een geschikte



De grafische weergave van een relaxatietrilling. Op de y-as is de uitwijking uitgezet als functie van de tijd.

maat, seconden bijvoorbeeld. De constante  $\sigma$  is de frequentie, waarbij  $2\pi/\sigma$  de trillingstijd is, de tijd nodig om precies een enkele trillingsgolf uit te voeren. Het aantal trillingen per seconde is dus  $\sigma/(2\pi)$ . Soms is dat eenvoudige model slechts bij benadering juist, bijvoorbeeld omdat er in de praktijk een (kleine) dempende kracht aanwezig is. In een dergelijke situatie verdwijnt er energie uit het systeem, door wrijving bijvoorbeeld, gaat er mechanische energie verloren en treedt er zogenaamde dissipatie (verstrooiing) van energie op. De harmonische trilling, gedempt of niet gedempt, hoort bij de lineaire modellen; ze is bepaald door een lineaire differentiaalvergelijking die met analytische hulpmiddelen kan worden opgelost. Het prototype van de ongedempte vorm is de differentiaalvergelijking

$$d^2u/dt^2 + \sigma^2u = 0,$$

waarvan de algemene oplossing kan worden geschreven als

$$u = a \cos(\sigma t + \alpha).$$

Daarbij kunnen de maximale uitwijking  $a$  (de amplitude) en de fase  $\alpha$  willekeurige

waarden aannemen. Overigens wordt een gedempte harmonische trilling beschreven door de differentiaalvergelijking

$$d^2u/dt^2 + \mu du/dt + \sigma^2u = 0,$$

waarbij de term met de eerste afgeleide de mate van demping aangeeft. Ook daarbij zijn de trillingen in principe sinusvormig, maar de amplitude neemt exponentieel af volgens de factor  $e^{-\mu t/2}$ . Dit is allemaal nog heel bekend en weinig spectaculair, maar wel een geschikt opstapje voor de nu te bespreken relaxatietrillingen. Die zien er grafisch, als in de afbeelding hiernaast, uit als een periodieke zaagtandtrilling waarbij licht stijgende of dalende gedeelten afwisselen met steile stukken. Men stelle zich in de eenvoudigste situatie een mechanisch systeem voor met kinetische en potentiële energie. De totale energie blijft nu tijdens de beweging niet meer constant maar keert na een periode wel telkens tot dezelfde waarde terug. Af en toe wordt de potentiële energie langzaam opgevoerd totdat een bepaalde drempel wordt bereikt, waarna de energie zich in korte tijd 'ontlaadt' (relaxeert).

De Nederlandse wis- en natuurkundige Balthasar van der Pol vond omstreeks 1920 bij een elektrische schakeling een dergelijke trillingsvorm welke we hieronder afbeelden. Daarbij slaagde hij er in een eenvoudig mathematisch model te ontwikkelen in de vorm van de volgende vergelijking

$$d^2u/dt^2 + \mu(u^2-1)du/dt + u = 0,$$

die de geschiedenis in zou gaan als de vergelijking van Van der Pol. Over die vergelijking zijn talloze artikelen en boeken geschreven, en zij is het begin geworden van een geheel nieuw hoofdstuk van wiskunde en mechanica. Wanneer  $\alpha = 0$  is de vergelijking van het harmonische type indien  $\sigma = 1$ , een kwestie van schaling. Wanneer  $\mu$  een klein positief getal is heeft de term met de eerste afgeleide blijkbaar het effect van een variabele demping, tenminste voorzover de uitwijking  $u$  in absolute waarde gro-





*Een shi-shi-o-doshi voert een relaxatietrilling uit. De bamboebuis loopt vol water, kliept om, loopt leeg, keert terug en loopt een vol. (foto: Kenwood)*

voorwaardelijke lus 80-130 is voor verbetering vatbaar, maar niet alle Basic-dialecten zijn op dat gebied even doeltreffend. In elk geval experimenteer men zowel met  $\mu$  (MU) en met de tijdstap  $h$ , maar ook de start zou anders genomen kunnen worden. Wanneer  $MU = 4$  en  $h = .01$  wordt de zaagtand mooi zichtbaar. Men zou eens kunnen nagaan hoe groot  $h$  kan zijn bij een gegeven waarde van  $\mu$  voordat de integratiemethode 'explodeert'.

Wanneer  $\mu$  klein is, bijvoorbeeld  $\mu = .1$ , zien we iets merkwaardigs gebeuren. De trillingsvorm is praktisch harmonisch, maar de amplitude is gestabiliseerd op de vaste waarde 2, een verschijnsel met grote implicaties in de natuurwetenschappen. Het blijkt nu dat

ter is dan 1. Is  $u$  echter klein dan is de damping negatief, wat neerkomt op een versterking van de trilling.

In zijn originele publikatie getroostte Van der Pol zich veel moeite om de vergelijking grafisch op te lossen, maar nu met onze computer is het werkelijk een fluitje van een cent, en dat laten we zien. Eerst schrijven we de vergelijking als een stelsel vergelijkingen van de eerste orde:

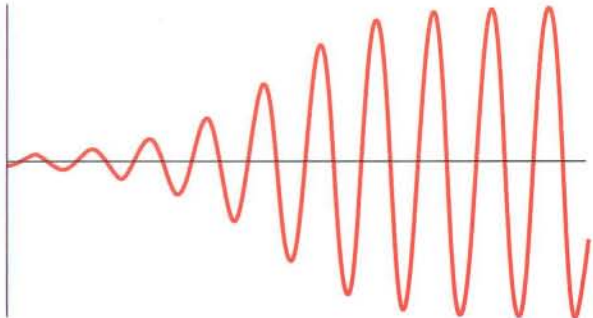
$$\begin{aligned} dx/dt &= y \\ dy/dt &= -x + \mu(1-x^2). \end{aligned}$$

De numerieke integratie berust op een eenvoudige benadering van het differentiaalquotient door een differentiequotient. We kunnen de eerste vergelijking bijvoorbeeld vervangen door

$$x(t+h) = x(t) + h y(t)$$

en iets soortgelijks doen voor de tweede vergelijking. Kennen we  $x$  en  $y$  voor een bepaalde waarde van de tijd  $t$ , dan kunnen we met de twee gegeven benaderingen een tijdstapje  $h$  verder komen. Herhaling van dit principe leidt tot kennis van  $x$  en  $y$  voor hogere waarden van  $t$ . De nauwkeurigheid van de methode is beperkt, maar wanneer we bescheiden zijn in onze eisen is de methode juist door zijn eenvoud heel bruikbaar, zolang we  $h$  maar erg klein nemen. Hoe klein is een zaak van experimenteren. Deze integratiemethode wordt gewoonlijk naar Euler genoemd. In het programma POL laten we zien hoe daarmee op grond van de vergelijking van Van der Pol de zaagtandtrilling kan worden verkregen.

Het programma is met opzet enigszins primitief geschreven om de lezer aan te moedigen het naar eigen inzicht te veranderen en uit te breiden. Zeker de



```

10 REM ***VERGELIJKING VAN VAN DER POL***
20 REM *****POL***
30 SCREEN 9 : CLS
40 WINDOW (0,-3)-(64,3)
50 LINE (0,0)-(64,0)
60 INPUT"PARAMETER = ",MU
70 INPUT"TIJDSAP = ",H
80 X=.1 : Y=0 : T=0 : REM ***STARTPOSITIE***
90 IF T>64 OR INKEY$<>" " THEN END
100 Z=X : X=X+H*Y
110 Y=Y-H*(Z+MU*(Z*Z-1)*Y)
120 T=T+H
130 PSET (T,X)
140 GOTO 90
150 END

```

overall waar sprake is van een stabiel periodiek verschijnsel een mathematisch model kan worden gehanteerd dat in wezen equivalent is aan dat van Van der Pol. Van der Pol wees reeds op de hartslag als mogelijke toepassing. Tenslotte laten we zien hoe het Van der Pol-model zichzelf na een kleine beginstoring opslingert tot een praktisch harmonische trilling.

*Na een zetje slinger u uit de vergelijking van Van der Pol zich op tot een harmonische trilling. Een slecht geladen centrifuge begint op deze manier te dansen, een krijtje op een schoolbord veroorzaakt zo een akelig gepiep.*

## Het Piltdown-mysterie

De beroemde Britse anatoom en conservator van het Royal College of Surgeons, sir Arthur Keith, is de hoofdschuldige bij de constructie van een van de grootste geschiedsvervalsingen aller tijden, de Piltdown-mens. Dit staat tenminste in een boek dat Oxford University Press dit najaar zal publiceren.

Een jurist en amateurfossielen-verzamelaar, Charles Dawson, vond de Piltdown-fossielen, een schedel en een kaakbeen, tussen 1908 en 1912. Deze botten golden als de eerste bewijzen van prehistorische Britten en hadden lange tijd een grote invloed op de ontwikkeling van theorieën over de menselijke evolutie.

In 1953 bewees een medewerker van de universiteit van Oxford dat de Piltdown-fossielen vervalsingen waren. Iemand had de kaak van een orang-oetang bevestigd aan een menselijke schedel die slechts enkele eeuwen oud was, had de tanden afgevijld en kunstmatig de kleur van de beenderen gewijzigd. De vervalsing bleek ondermeer uit het te lage fluoridegehalte van de beenderen.

Een antropologieprofessor uit New York, Frank Spencer, is de eerste die de anatoom Keith van de snode daad beschuldigt. Volgens Spencer heeft Keith de fossielen vervalst teneinde zijn theorie te ondersteunen dat de vroege mens grotere hersenen ontwikkelde terwijl de kaak aapachtig bleef.

Tot de andere verdachten in het Piltdown-mysterie behoren Pierre Teilhard de Chardin, een beroemde antropoloog en filosoof, en de schrijver Sir Arthur Conan Doyle.

Niet alleen Spencer heeft zich gewijd aan het onderzoek naar de oudheidkundige vervalser. Ook Ian Langham, een geschiedkundige van de universiteit van Syd-



De resten van de Piltdown-mens hebben heel wat stof doen opwaaien. Niet alleen toen de antropologen

dachten dat ze authentiek waren, maar ook nadat men wist dat het een vervalsing betrof.

ney, heeft afzonderlijk van Spencer het onderzoek aan het Piltdown-mysterie opgevat. Deze twee detectives vermoedden beiden, toen zij elkaar aan het begin van de jaren tachtig tegenkwamen, dat Keith de schuldige was. Langham schijnt het oorspronkelijke idee te hebben gehad. Toen hij in 1984 overleed vroeg zijn weduwe aan Spencer om het onderzoek te voltooien.

De onderzoekers hebben vele oude gegevens in het British Museum doorgenomen. Uiteindelijk kwamen zij tot de conclusie dat Keith de meeste baat had bij de vervalsing: "het gaf hem een instrument om zijn interpretatie van de menselijke evolutie te onderbouwen met fossielen. Hij meende dat het onrechtmatig verkregen bewijs te zijner tijd ook op normale wijze zou worden verkregen."

De meeste onderzoekers zijn het er wel over eens dat de vinder Dawson betrokken was bij de vervalsing. Spencer gelooft echter dat Dawson de technische vaardigheid miste om de namaakfossielen authentiek te laten lijken. Verscheidene vooraanstaande Engelse wetenschappers zijn destijds voor de gek gehouden met de resten van de Piltdown-mens. Het is de vraag of men ooit voor honderd procent zeker zal weten wie verantwoordelijk is geweest voor de farce. Er is in ieder geval niemand geweest die de moed had om te bekennen.

*New Scientist*



## PRIJSVRAAG

### De nieuwe opgave

Op een zaterdagmiddag heeft de professor pannekoeken gebakken. Na de smakelijke maaltijd – pannekoeken met spek en met ananas – te hebben verorberd, begint de professor aan de 'enorme' afwas. Terwijl hij een vet bord in het schuimende sop laat zinken, dwalen zijn gedachten af naar de chemie.

Vetten (lipiden) bevatten een apolair (hydrofoob) en een polair (hydrofiel) gedeelte. De professor herinnert zich de structuurformules van cis-9-octadecenzuur, octadecaanzuur en hexadecaanzuur. Hoe zou een triacylglyceride dat is gevormd met deze vetzuren, eruit kunnen zien en hoe verliep de hydrolyse van zo'n glyceride met een natriumhydroxide-oplossing ook al weer?

Fosfolipiden zijn belangrijke verbindingen in levende wezens. De professor vraagt zich af wat de structuurformule is van een fosforzuer ester afgeleid van het zojuist gevraagde triacylglyceride.

Zo'n fosfolipide is net een ouderwetse wasknijper met een polaire kop en twee apolaire staarten. Op welke twee manieren kunnen zes identieke fosfolipidemolekulen in water associëren?

Deze opgave werd beschikbaar gesteld door de Stichting Scheikunde Olympiade Nederland. Wie wil meedingen naar de lootprijs, een boek uit de Wetenschappelijke Bibliotheek van Natuur & Techniek, of punten wil verzamelen voor onze laddercompetitie, dient antwoorden op de vragen van de professor voor 31 augustus 1990 te sturen aan: Natuur & Techniek  
Puzzelredactie  
Postbus 415  
6200 AK MAASTRICHT

De puzzelredactie zal de juni- en juli-opgaven, in verband met de inzendingstermijn van de oplossingen en het verschijnen van het AIDS-boek van Natuur & Techniek in september, pas in het oktobernummer bespreken en dan ook de prijswinnaars bekendmaken.



NATUUR & TECHNIEK verschijnt maandelijks, uitgegeven door de Centrale Uitgeverij en Adviesbureau BV te Maastricht.

Redactie en administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland:  
Postbus 415, 6200 AK Maastricht.

Voor België:  
Boechstraat 15,  
1860-Meise/Brussel.

Bezoekadres:  
Stokstraat 24, 6211 GD Maastricht.

Advertenties:  
H. Beurskens.

Telefoon: 0(0-31)43 254044 (op werkdagen tot 16.30 uur).

Telefax: 0(0-31)43 216124.

Voor nieuwe abonneementen:

0(0-31)43 254044 (tot 20.30 uur, ook in het weekend).

Abonnementsprijs (12 nummers per jaar, incl. porto): f 112,50 of 2200 F.

Voor drie jaar: f 265,— of 5195 F.

Prijs voor studenten: f 85,— of 1660 F.

Overige landen: + f 35,— extra porto (zeepost) of + f 45,— tot f 120,— (luchtpost).

Losse nummers: f 10,95 of 215 F (excl. verzendkosten).

Distributie voor de boekhandel:

Betapress BV, Gilze. Tel.: 01615-7800.

Abonneementen op NATUUR & TECHNIEK kunnen ingaan per 1 januari of per 1 juli (eventueel met terugwerkende kracht), doch worden dan afgesloten tot het einde van het lopende abonnementsjaar.

Zonder schriftelijke opzegging vóór het einde van elk kalenderjaar, wordt een abonnement automatisch verlengd voor de volgende jaargang.

TUSSENTIJDEN kunnen geen abonneementen worden geannuleerd.

De Centrale Uitgeverij is ook uitgever van DE WETENSCHAPPELIJKE BIBLIOTHEEK.

Door een lidmaatschap te nemen betaalt u voor elk boek een serieprijs die veel lager is dan de losse prijs. Voor inlichtingen: 0(0-31)43 254044.

Postrekeningen:

Voor Nederland: nr. 1062000 t.n.v.

Natuur en Techniek te Maastricht.

Voor België: nr. 000-0157074-31

t.n.v. Natuur en Techniek te Brussel.

Bankrelaties:

Voor Nederland: AMRO-Bank NV te

Heerlen, nr. 44.82.00.015.

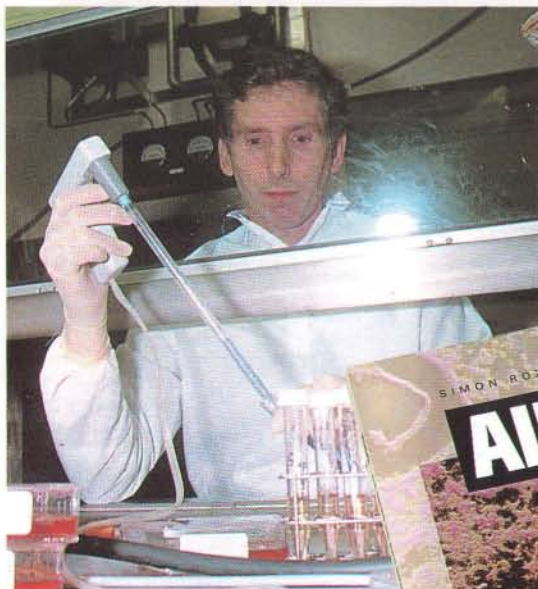
Voor België: Kredietbank Brussel,

nr. 423-907 0381-49.

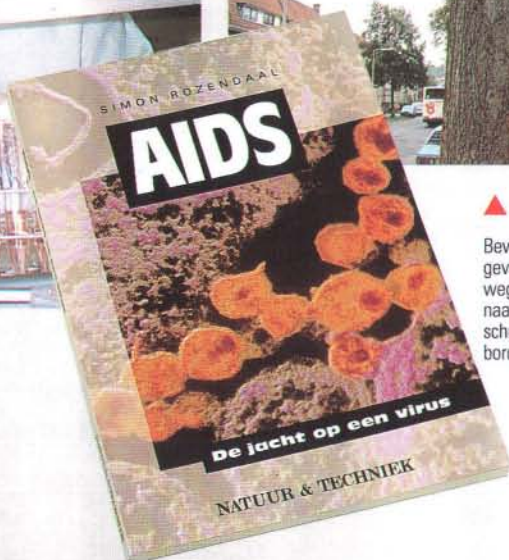
# AIDS

## Een Aids-special in boekvorm

Het septembernummer van Natuur & Techniek is een 'dubbelnummer' met de omvang van een boek: 168 pagina's met een schat aan verduidelijkende schema's en illustraties in vierkleurendruk. Een boek over AIDS met als titel: De jacht op een virus.



▲  
Aidsonderzoek bij het Centraal Laboratorium van de Bloedtransfusiedienst te Amsterdam. Goede voorzorgsmaatregelen voorkomen de kans op besmetting.



▲  
Bewoners zijn de gevaarlijke overlast van weggeworpen injectienaalden beu en waarschuwen met dit soort borden.



De hoofdttekst is geschreven door de bekende wetenschapsjournalist ir. Simon Rozendaal. Verder bevat het boek ook een aantal bijdragen van zo'n twintig vooraanstaande virologen, immunologen, hematologen en epidemiologen uit binnen- en buitenland, plus een inleiding van de ontdekker van het Aidsvirus: professor Luc Montagnier.

Deze rondgang langs de belangrijkste centra van onderzoek laat de lezer van zeer nabij getuige zijn van een internationale jacht op het meest gevreesde en meest ongrijpbare virus van de mensheid: belastende feiten, sterke en zwakke vermoedens, maar ook de onenigheid in het forum van de wetenschappelijke "getuigen".

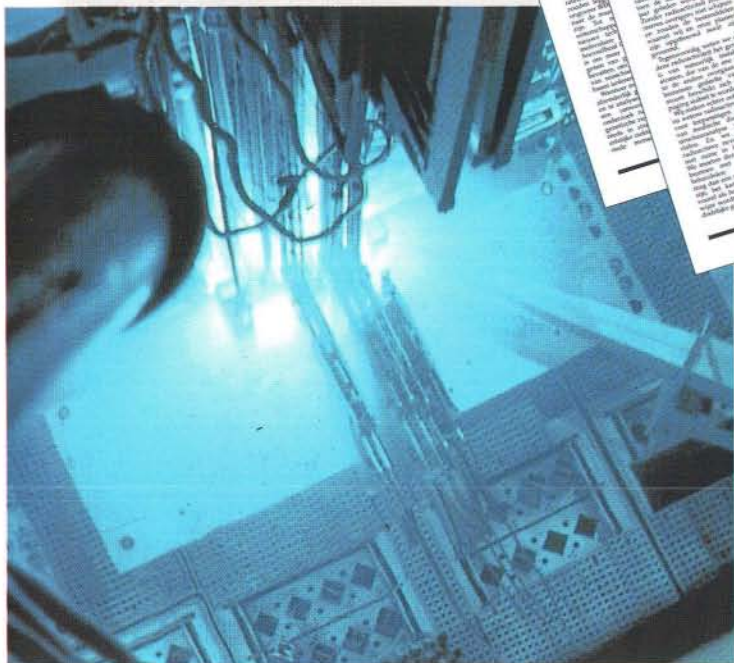
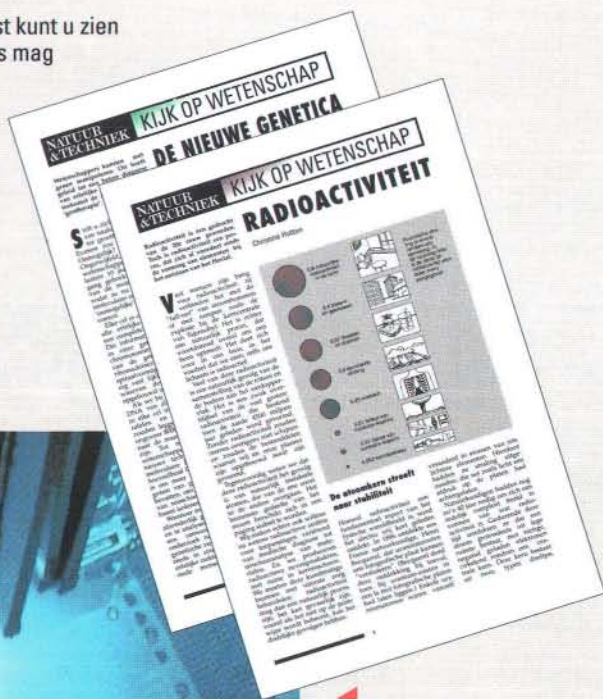


# Kijk op Wetenschap

Vanaf oktober 1990 elke maand een 'studiekatern' in het hart van Natuur & Techniek. Deze artikelen worden gemaakt in samenwerking met de New Scientist en geven in acht pagina's een bondig en helder overzicht van een bepaalde thematiek uit wetenschap of technologie. De teksten en illustraties zijn gemaakt voor scholing en bijscholing, voor inzicht en overzicht. Vandaar de titel van deze serie: "Kijk op Wetenschap". In de volgende lijst kunt u zien wat u de komende acht nummers mag verwachten.

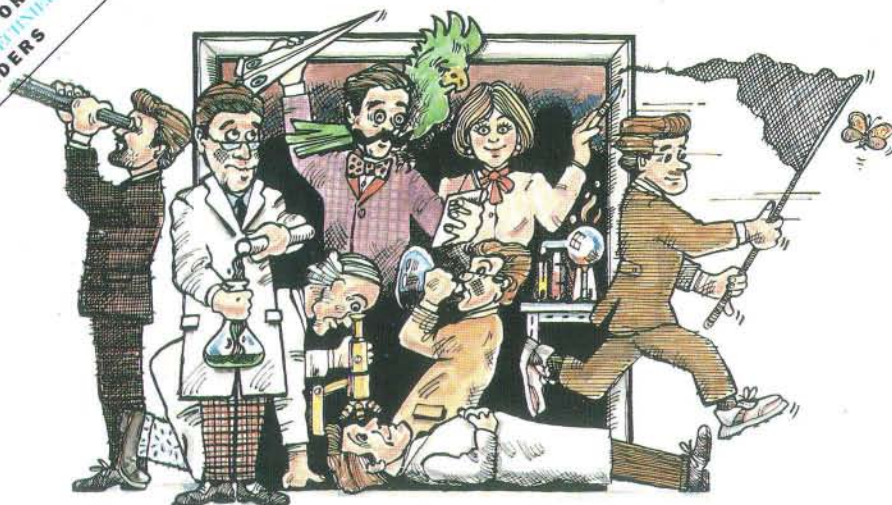
Oktober 1990: radioactiviteit  
November 1990: genetica van de mens  
December 1990: het ontstaan van de elementen  
Januari 1991: de structuur van de aarde  
Februari 1991: kanker en oncogenen  
Maart 1991: kwantumfysica  
April 1991: vegetatie en klimaat  
Mei 1991: lasers

Van elke studiekatern worden **overdrukken** gemaakt omdat wij ervan overtuigd zijn dat deze met enthousiasme in het onderwijs, en elders, gebruikt zullen worden.



De straling in een kerncentrale wordt 'zichtbaar' door het Cherenkov-effect. Gammastralen uit de reactor versnellen elektronen van watermolekulen tot snelheden groter dan de lichtsnelheid in water. Daardoor ontstaat het kenmerkende blauwe licht.

SPECIAL  
OFFER FOR  
Natuur & Techniek  
READERS



## How do you get the world of science and technology inside your living room every week?

Imagine what you'd learn if the most eminent minds in science and technology paid you a visit every week.

You might overhear how dolphins are making waves in zoology, for instance. How they actually listen with their jaws - and stun their prey with sound.

Or perhaps you'd catch on to some biting news in the world of entomology. Like how ants know when it's time for dinner.

Failing that, you could benefit from some handy tips on how butterflies are helping the fight against crime. (The Peruvian government plans to release swarms of coca-eating butterflies - with the aim of destroying the illegal traffic in cocaine).

And if you're lucky, you might be spell-bound by the latest theory that suggests the snowbound yeti is more of a peace-loving vegetarian than an abominable snowman.

Of course, all these fascinating facts, as well as the more serious side of science and technology, are yours for the asking by subscribing to New Scientist.

Have New Scientist delivered every week and your mind will be in the best company.

With articles from the pens of the world's top scientists.

In order to provide the best service to our readers, Natuur & Techniek and New Scientist are cooperating on a number of editorial projects.

Natuur & Techniek is therefore pleased to offer a subscription to New Scientist at the special introductory rate of just f 182,- or 3300 F - a 35% saving of f 98,- or 1776 F on the normal subscription rates of f 280,- or 5076 F. These rates are only available to readers of Natuur & Techniek. Please use the special card in this issue and send this directly to Natuur & Techniek.

**subscribe to newscientist  
and save up to 35% on a subscription**